

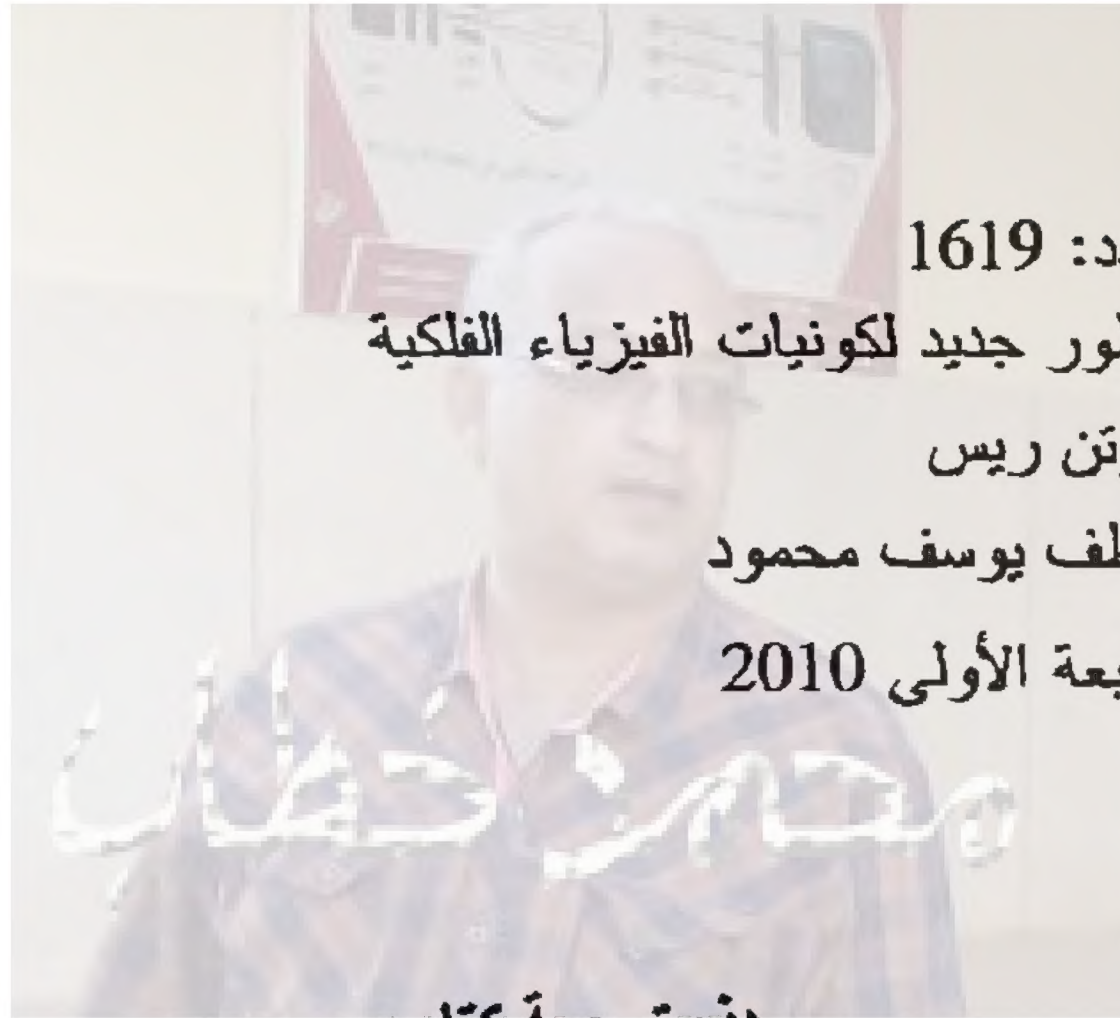
مارتن ريس

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية

ترجمة وتقديم
عاطف يوسف محمود

1619

المركز القومي للترجمة
إشراف: جابر عصفور



- العدد: 1619
- منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية
- مارتن ريس
- عاطف يوسف محمود
- الطبعة الأولى 2010

هذه ترجمة كتاب:

New Perspectives in Astrophysical Cosmology
Second Edition
By Martin Rees
© Cambridge University Press 1995, 2000
First Published by the Syndicate of
the Press of the University of Cambridge, England

حقوق الترجمة والنشر بالعربية محفوظة للمركز القومي للترجمة

شارع الجبلية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت: ٢٧٣٥٢٣٩٦ فاكس: ٢٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

E- mail: egyptcouncil@yahoo.com Tel: 27354524 - 27354526 Fax: 27354554

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية

محمد حطاب

تأليف: مارتين ريس

ترجمة وتقديم : عاطف يوسف محمود



2010

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشؤون الفنية

ريس، مارتن

منظور جديد لكونيات الفيزياء الفلكية / تأليف: مارتن ريس،

ترجمة وتقديم: عاطف يوسف محمود

ط ١ - القاهرة: المركز القومي للترجمة، ٢٠١٠

٢١٦ ص، ٢٤ سم

١ - الفيزياء الكونية

٢ - الفلك الطبيعي

(أ) محمود، عاطف يوسف (ترجمة وتقديم)

٥٣٩,٧٢

(ب) العنوان

رقم الإيداع ١١١٧٥ / ٢٠١٠

الترقيم الدولي: 1-117-704-977-978-I.S.B.N

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

تهدف إصدارات المركز القومي للترجمة إلى تقديم الاتجاهات والمذاهب الفكرية المختلفة للقارئ العربى وتعريفه بها، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافتهم، ولا تعبر بالضرورة عن رأى المركز.

المحتويات

7	..... مقدمة المترجم
10	..... مقدمة المؤلف
12	..... ملحوظات

الباب الأول: الإطار الكونى

17	..... ١-١ ما موضع المنظومة الشمسية من الكون
18	..... ٢-١ إلى أى مدى يصل التجانس فى تركيب الكون على المقياس الكونى..
23	..... ٣-١ الأجرام ذات الانزياح الطيفى العالى صوب الأحمر
32	..... ٤-١ تاريخ ما قبل المجرات
38	..... ٥-١ مكانة افتراضية الانفجار الأعظم الساخن

الباب الثانى: المجرات والمادة المعتمة

45	..... ٢-١ ما المجرات
49	..... ٢-٢ أبعاد المجرات، بوصفها حالة خاصة
54	..... ٢-٣ المادة المعتمة
59	..... ٢-٤ ما عسى أن تكون هذه المادة المعتمة
70	..... ٢-٥ كيف يتيسر التمييز بين البدائل المرشحة بوصفها مصدر للمادة المعتمة

الباب الثالث: بروز البنية الكونية إلى الوجود

75	..... ٣-١ عدم الاستقرار الجذبوى
80	..... ٣-٢ كيف التذبذبات عند زمن عودة الاندماج ن ع
89	..... ٣-٣ هل الكون مسطح؟
97	..... ٣-٤ الطرق التقليدية لتحديد قيمة المعامل (ى)
102	..... ٣-٥ مفاتيح للحل توفرها لنا خلفية الموجات فائقة الصغر

108	٣-٦ دور المكوّن الباريوني في تبديد الطاقة.....
110	٣-٧ هل هناك فرضية بسيطة تتوافق مع كل المعطيات.....
الباب الرابع: الكوازارات (أشباه النجوم) والدراسة الإحصائية لها	
117	٤-١ الكوازارات وحقبة تشكل المجرات.....
126	٤-٢ كم كان هناك من الكوازارات.....
128	٤-٣ كتل الكوازارات مدى كفاءة عملياتها.....
131	٤-٤ الكوازارات الميّنة: ثقوب سوداء هائلة في المجرات المجاورة.
141	٤-٥ الثقوب السوداء الثنائية.....
143	٤-٦ التأويلات حول تطور أشباه النجوم في ضوء تفسيرات نشأت الكون.
الباب الخامس: بعض وسائل الاستشعار، والمتخلفات من الكون ذي الانزياح الكبير صوب الأحمر	
151	٥-١ الكوازارات بوصفه وسيلة لقياس وسبر للغاز المتداخل.....
157	٥-٢ الحقبة الزمنية (المعامل ز أكبر من ٥).....
165	٥-٣ المجالات المغناطيسية.....
175	٥-٤ الأوتار الكونية.....
الباب السادس: بعض المسائل الجوهرية	
181	٦-١ الجاذبية.....
184	٦-٢ الكون متناهي التبكير.....
187	٦-٣ مشكلتنا الاستواء والأفق المدى.....
189	٦-٤ النماذج وفقاً لنظرية الانتفاخ.....
197	٦-٥ العبرة الختامية.....
203	- قائمة المراجع.....
209	- قراءات إضافية حول الموضوع نفسه.....

مقدمة المترجم

حتى بزوغ عصر الفضاء كان علم الفلك دائماً يعتبر علماً حاقلاً بالأسرار، مقصوراً على فئة معينة من الناس، أما الآن فإنه يقفز بغتة لا ليصبح موضوعاً يستحوذ على اهتمام الناس الشديد فحسب، بل ليصبح بالمثل علماً تطبيقياً له نواحيه العلمية. ومنذ ظهور الأقمار الصناعية، وكثير من الناس يرقبون السماوات، أولئك الذين لم يكن قد سبق لهم من قبل أن تطلعوا بعين الفضول إلى النجوم. والموضوعات التي ظلت سنين عدداً وقفاً على قلة من الاختصاصيين يحيون في مرصد منعزلة، أخذت الآن تملأ أعمدة الصحف وشاشات التليفزيون.

لقد أصبح جلياً أن الإنسان يمضي قتماً إلى الأمام، فقد تخطينا مرحلة السحر والطقوس الدينية إلى العقل والمنطق، ومن الفرع الخرافى إلى الثقة الفعالة، ومن الجهل المحلى إلى المعرفة ذات الطابع العام، ومن الإيمان إلى العلم، ومن مجرد البحث عما يسد الرمق إلى الراحة والتأمل العلمى، ومن الصوفية إلى المادية، ومن الحتمية الميكانيكية إلى الشك المتفائل، ولعلنا اليوم نعيش أفضل العوالم الممكنة فى هذه المرحلة الحالية من ارتقاء البشر.

ومن الوهلة الأولى، نجد أن العلم هو الرحم الذى يخرج لنا هذا التراكم المعرفى، نراه نشاطاً فريداً بين نشاطات الجنس البشرى. فهو موضوعى يستخدم أدوات البحث والبرهان المحايدة والدقيقة. ذلك لأن النظريات العلمية تصاغ ذهنياً أولاً قبل أن تجرى عليها التجارب لاختبارها. فإذا تكررت النتائج وأصبحت غير قابلة للتزييف على أى نحو كان، ظلت النظرية عندئذ حية باقية، وإلا فإنها تطرح جانباً. وتطبق القواعد العلمية تطبيقاً صارماً، ويتم الحكم على الأبحاث العلمية بمستويات عالمية، فليس هناك فى مجال البحث العلمى أى نوع من أنواع

التبريرات. ونستطيع القول ببساطة إن هدف العلم هو اكتشاف كيف تسير الطبيعة، واستخدام ما يتم الحصول عليه من معلومات في تعزيز حياتنا الثقافية والمادية. وفيما يختص بالمنطق الذى يوجه البحث العلمى، نجده منطقاً عقلانياً لا غنى عنه فى كل الأزمان والظروف. وتتجاوز خاصية العلم هذه، كل الاختلافات التى تجعل إحدى الفترات الزمنية لا تقاس بفترة زمنية أخرى فى محاولات البحث العلمى، أو فى التعبير الثقافى الذى لا يمكن قبول شرحه فى سياق آخر. فالعلم لا يعرف أية حدود خاصة بالسياق، إذ يسعى فحسب للوصول إلى الحقيقة.

ولكن أية حقيقة تلك التى يسعى إليها العلم؟ ألم يتم رصد الحقيقة فى كل زمان بصور متباينة؟ ما من شك فى أن الحقيقة وكما نراها، تخضع للبنية الذهنية، ولنسترجع مقولة فيثجنشتاين: "أنت ترى ما تريد أن تراه". وهذه البنية الذهنية هى التى تمثل الرؤية الشاملة للبيئة بأكملها فى كل مجالات البحث بدءاً من المجال الكونى إلى ما دون الذرة.

وأول الخطوط الإرشادية للإنسان فى هذا الكون هو أكثرها عمومية، تلك التى تصف ماهية الكون وكيفية أدائه، ولعل من أعظم العناصر الجاذبة للفيزياء الفلكية، هو تجديدها الدائب لحلم الإنسان فى سبر أغوار الطبيعة: كيف برزت للوجود تلك البنى التى تسود كوننا اليوم من مجرات وتجمعات نجمية، من بداية هلامية فى الزمان المبكر؟ إن دراستنا لحركة تجمعات المجرات وجمهراتها تؤكد أن هذه المنظومات حرة بالتأفر، متباعدة عن بعضها لو لم تحو من المادة أكثر بكثير مما نشاهد ونرصد، فما هو كنه هذه المادة المعتمة التى يلوح أنها المكون السائد فى الكون، وهل المتغيرات الجوهرية التى حددت طبيعة كوننا كما نعهده اليوم، ميراث من فيزيائيات جلية غير مألوفة لنا، وفدت إلينا من مراحل أكثر تبكيراً من عمر كوننا؟ نحن لا ندري أصلاً لماذا تحتم وجود مثل هذه المجرات والتجمعات من النجوم والغاز، ولماذا كانت بهذا الاتساق وبخواصها التى تكاد تكون قياسية على المقياس الكونى. إن نحو تسعين بالمائة من الكتلة المادية الخاصة

بالمجرات متوارية عنا. فالنجوم النيرة والغازات لا تسهم إلا بحوالي عشر المادة التي تتحرك بفعل الجاذبية والتي نستتبط مقاديرها من دراساتها للديناميكيات. وليس من الواضح لنا لماذا تتوهج نوى بعض المجرات، مطلقاً كميات جبارة من الإشعاع الذي لا ينتمى للنجوم، وإنما ينبعث من تلك الأجرام التي نطلق عليها أشباه النجوم، والمجرات الراديوية.

وهذا الكتاب الشائق يحاول أن ينقل جوهر الأفكار التي تتداولها أحدث البحوث العلمية حول هذه الألغاز التي مازال الغموض يكتنفها، ومؤلفه (مارتن ريس) من علماء الكونيات الرواد، شغل كرسي الأستاذية في جامعتي ساسكس وكمبريدج، وقد شغل منصب مدير المعهد الفلكي، كما كان أستاذا زائرا لكل من رفارد ومعهد كاليفورنيا التكنولوجي، وقد ضرب بسهم وافر في البحوث الفلكية وحاز جائزة الكتابة في العلوم الفيزيائية من المعهد الأمريكي، وهو يصحبنا في الكتاب نحو بحث العديد من المسائل الحيوية في كونيات الفيزيائيات الفلكية، ابتداءً من تمدد الكون وتباعد المجرات وسرعات تحركها الهائلة، وطبيعة المادة السوداء، والأحداث التي وقعت لدى حقبة نشأة الكون المبكرة، مستعرضاً آخر النظريات المتطورة وأكثرها إثارة، ويميز المؤلف تمييزاً واضحاً بين الجوانب التي توطدت أركانها تجريبياً وتلك التي ما زالت موضع بحث في نظام الكون الحديث في أسلوب يختلف عن المراجع الأخرى، ويثير شغف كل من له علم بنظام الكون وإمام بطرف من فيزيائياته.

د.م. عاطف يوسف محمود



مقدمة المؤلف

يقوم بناء هذا الكتاب على سلسلة من المحاضرات ألقى في "ميلانو". وقد حاولت في هذه المحاضرات أن أضع لجمهور المستمعين من علماء الفيزياء، فضلا عن الفلكيين، الخطوط العريضة لبعض جوانب البحوث الدائرة في المجالات ما بين الفيزياء الفلكية عما فوق المجرات، وعلوم الكونيات والفيزياء العملية: وتتضمن الموضوعات المطروحة: نشوء المجرات، وأصل البنية الكونية، والمادة المعتمدة، والإشعاع الخلفي، وما إلى ذلك.

لقد كان عرض هذه الموضوعات عموميا يمس السطح فحسب ويسلط الضوء فقط على العديد من النقاط الجوهرية لتجليتها. وقد كان هذا في المقام الأول يعود لي أنا شخصيا، والأمر الثاني أنه كان حتميا ألا تكفي ست ساعات فقط لتغطية كل هذا النطاق من المواضيع رغم ما بذل من جهد خارق. وهذا النص الحالي المكتوب إعادة لترتيب المحاضرات (بل وتحديث لها في بعض المواضع). على أية حال، وتماشيا مع العرف الدارج نحو الإيجاز، الذي أرسته مطبوعات سابقة ضمن هذه السلسلة، لم أتوسع في المادة أو أتطرق إلى موضوعات تخرج عن مستوى التفاصيل مما كان يمكن بالفعل تقديمه في المحاضرات. وللسبب نفسه فقائمة المراجع ليست بالكامل (رغم أنها تضم عناوين مختارة لقراءة أعمال إضافية).

وهذا ليس بالقطع كتابا تدريسيا تقليديا، ولا ينهض ليكون كتابا تمهيدا قائما بذاته. بيد أنني اجتهدت في إلقاء الضوء على ما يبدو أنه أهم الخلاصات والأفكار (رغم أن مادة الفصلين الرابع والخامس قد تم انتقاؤها إلى حد ما، إذ يركزان على رموس موضوعات أكثر تخصصية، كنت مضطعا بها في ذلك الوقت). وإني

لأمل - على وجه الإجمال - أن تنقل المحاضرات جوهر بعض التطورات الحديثة والمجاذلات الدائرة الآن، دونما تشوية كبير لها، وأن تمت هذه النسخة المكتوبة من المحاضرات المتخصصة في فروع الفيزياء الأخرى، والطلبة ممن يدرسون هذا الموضوع للمرة الأولى، بتمهيد وإطلالة شاملة يسهل استيعابهما.

وإنه لمن دواعي سروري أن أشهد بأثر العديد من الزملاء الذين تعاونت معهم أو ناقشتهم في الموضوعات المتعلقة بالكونيات، وأنا بالمثل ممتن للقراء الذين أشاروا إلى بعض الهنات والعبارات غير المفهومة. وقد تم تدارك كل ذلك في هذه الطبعة المنقحة، والتي تتضمن أيضا قدرا لا بأس به من المادة العلمية الجديدة، وتحديثا لطبعة عام ١٩٩٥ من الكتاب. كما أدين بالامتنان لأكاديمية "لينسي" الوطنية لدعوتي لإلقاء المحاضرات الأصلية، ولأستاذ البروفسور "إيتورو فيوريني" لدعمه وحفاوته بي في أثناء استضافتي في ميلانو، وللدكتور "سيمون ميتون" لتشجيعه إياي على إخراج هذه النسخة الجديدة من المحاضرات.

ملحوظات مهمة لدى مطالعة الكتاب

نظرا لكثرة الرموز العلمية الواردة بالترجمة نورد قائمة بأهمها، وكذلك بأهم المقادير الفيزيائية الثابتة المستعملة كما نود أن نشير إلى أن الأرقام الواردة بين قوسين في أعلى بعض الكلمات أو العبارات، تشير إلى رقم المرجع الخاص بهذه الفقرة ضمن قائمة المراجع المذكورة في نهاية الكتاب.

قيم أهم الثوابت الفيزيائية:

ثابت الجاذبية العام	=	$6,67259 \times 10^{-8} \text{ سم}^2 / \text{جم} \cdot \text{ثانية}^2$
الصفر المطلق (على مقياس كلفن)	=	$-273,16$ درجة مئوية
سرعة الضوء في الفراغ	=	$299792 \text{ كم} / \text{ث}$
شحنة الإلكترون	=	$1,60218 \times 10^{-19} \text{ كولوم}$
كتلة الإلكترون الساكنة	=	$9,11 \times 10^{-28} \text{ جرام}$
نسبة شحنة الإلكترون إلى كتلته	=	$1,75882 \times 10^{11} \text{ كولوم} / \text{كيلوجرام}$
طاقة الإلكترون فولت	=	$1,60218 \times 10^{-19} \text{ جول}$
1 ميغا إلكترون فولت	=	$1,60218 \times 10^{-13} \text{ جول}$
ثابت بلانك	=	$6,626076 \times 10^{-27} \text{ جول} \cdot \text{ثانية}$
ثابت بولتزمان	=	$1,38066 \times 10^{-23} \text{ جول} / \text{درجة كلفن}$
طول موجة كومتون	=	$2,426 \times 10^{-12} \text{ سم}$
كتلة البروتون	=	$1,672623 \times 10^{-27} \text{ كجم}$
طاقة البروتون الساكن	=	$938,272 \text{ ميغا إلكترون فولت}$
كتلة النيوترون	=	$1,674929 \times 10^{-27} \text{ كجم}$
طاقة النيوترون الساكن	=	$939,566 \text{ ميغا إلكترون فولت}$
ثابت ستيفان - بولتزمان	=	$5,67051 \times 10^{-8} \text{ وات} / \text{م}^2$

(درجة كلفن)^٤

ثابت ريدبرج	=	$1.097373 \times 10^7 \text{ م}^{-1}$
نصف قطر بور	=	$29177 \times 10^{-11} \text{ م}$
زمن بلانك	=	$1.0 \times 10^{-44} \text{ ثانية}$
طول بلانك	=	$1.616 \times 10^{-35} \text{ م}$

أهم الرموز المستخدمة في الترجمة العلمية:

ث	=	كثافة الكون (كمية المادة في وحدة الحجم منه)
	=	ϵ زفب = العزم الزاوي لخلفية الأشعة فوق البنفسجية.
س	=	سرعة الضوء في الفراغ.
ذ	=	سعة الذبذبة.
ث ح	=	الكثافة الحرجة.
ن	=	الزمن
م (ر)	=	معامل مقياس الزمن أو معامل المقياس الكوني =
		الطول الموجي كما يصلنا الآن ل ح
		$1+z =$

		الطول الموجي وقت الانبعاث ل ع
		(حيث ز = معامل انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر)
١ / ت	=	العدد الكوني (نسبة الفوتونات إلى الباريونات).
د	=	درجة الحرارة المطلقة.
بو	=	ثابت بولتزمان.
ء	=	عجلة الجاذبية.
ن ء	=	زمن السوط الحر.
ن ب	=	زمن الابتعاد.
د غ	=	درجة حرارة الغاز.
ك نر	=	كتلة الشمس (وتساوي 1.989×10^{30} كجم).

ك ح	=	الكتلة الحرجة.
نق ح	=	نصف القطر الحرج.
د ق	=	درجة الحرارة المقومة.
ن م	=	زمن هابل.
ج	=	ثابت الجاذبية العام.
ى	=	معامل كثافة الكون.
هـ .	=	ثابت هابل طبقا لوحدات ٥٠ كم / ث لكل ميغا بارسك.
ك أ	=	كتلة الإلكترون.
ك ب	=	كتلة البروتون.
ك و	=	كتلة الومب.
σ	=	ثابت سيفان بولتزمان.
ن ع	=	زمن عودة الاندماج.
ى ب	=	النسبة التى تسهم بها المادة الباريونية فى المعامل ى
ب	=	معامل الانحياز.
أ	=	الثابت الكونى.
ط ف	=	طاقة الفوتون.
ع ز	=	العزم الزاوى.
م ع ز	=	معامل العزم الزاوى.
ط ج	=	الطاقة الجذبوية الرابطة.
ن س	=	مقياس سالبيتر الزمنى.
م ط	=	معامل التباطؤ.
ل د	=	لمعان إيدنجتون.
نق ث	=	نصف قطر كرة التأثير (الثقب الأسود).
ع ش	=	تشتت السرعة النمطى.
نق ح	=	نصف قطر الثقب الأسود الجذبوى.
ز	=	معامل انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر.

نق م	نصف القطر المذى.
ع ق	السرعة التقويمية.
ى يد	نسبة مساهمة الهيدروجين المحايد فى المعامل (ى).
ن ه	زمن كومتون للتبريد.

المترجم

د / عاطف يوسف محمود



الباب الأول

الإطار الكوني

١ - ما موضع المنظومة الشمسية من الكون:

إن الجاذبية، تلك القوة التي يتعذر علينا أن نلمسها على المستوى المعملّي بين جسمين، هي القوة المهيمنة في الفلك والكونيات. والمكونات الأساسية في محيطنا الكوني - النجوم، والمجرات والعناقيد المجرية - تتضمن جميعها توازنا بين قوى التجاذب من ناحية وبين التأثير الطارد الذي يحدثه الضغط أو الطاقة الحركية من ناحية أخرى. وربما أبدى ذلك الجزء الذي يمكننا رصده من مجمل الكون، توازنا مماثلا. فالتمدد الكوني الذي قال به هابل^(*) أخذ في التباطؤ (وربما انتهى في خاتمة المطاف إلى انكباح ثم إلى توقف كامل)، بسبب التأثير الجذبي لمجمل كتلته وطاقته.

ونحن أقرب إلى فهم التركيبات الكونية الأبسط والأصغر حجما... وهي النجوم المنفردة. فمن الناحية النظرية بمقدورنا التنبؤ بمكونات النجوم، وبدورات حياتها، واختبار ذلك تجريبيا عن طريق رصد الحشود النجمية الضخمة ذات الأعمار المختلفة في مجرة الطريق اللبني^(**). ويمكن النظر إلى مجرة الطريق اللبني، تلك المجرة القرصية التي تنتمي إليها الشمس، باعتبارها نوعاً من منظومة

(*) في عام ١٩٢٩ أوضح إدوين هابل (١٨٨٩ - ١٩٥٣)، من خلال تلسكوبه بكاليفورنيا أن الكون أخذ في التمدد وأن المجرات تتباعد. ويعرف المعامل الذي يربط ما بين سرعة تباعد المجرات والمسافة التي تفصلها عنا بثابت هابل (هـ) ويزداد معدل تباعد المجرات بازدياد بعدها عنا. (المترجم)

(**) مجرة الطريق اللبني Milky way أو مجرة درب التبانة، هي المجرة التي تنتمي إليها مجموعتنا الشمسية وبها نحو ٤٠٠ ألف مليون نجم أو أكثر. (المترجم)

حيوية، حيث يستمر فيها - وبلا انقطاع - مولد نجوم جدد وهلاك أخرى، فيما يعاد تدوير ما تحتويه من غازات وإثراؤها كيميائيا مع استدامة حركة تطورها.

وتمثل مجرتنا نمطا مألوفا من المجرات الموزعة عبر الكون، تلك المجرات التي هي أكثر ملامح المشهد الكوني جلاء. لماذا كان لزاما أن يكتظ الكون بهذه التجمعات الهائلة من النجوم والغاز، التي يبلغ متوسط عرضها - نمطيا - نحو ١٠ سنة ضوئية^(*)، وتضم زهاء ١٠^{١١} نجم؟ ليس لدينا حتى الآن ذلك التبرير الفيزيائي الدامغ للخواص التي تميز المجرات، مثل ذلك التبرير الذي نملكه فيما يخص النجوم.

إن أحد الأسباب التي تجعل المجرات أكثر استعصاءً على الفهم من النجوم، هو أن تشكلها يمثل انتهاكا لقوانين الكونيات. فالنجوم المنفردة تتكون، وتتطور ثم تموت بمعزل عن التطور في الكون بدرجة أو بأخرى. ولم تخلف الظروف الكونية الابتدائية أية إلماعات أو آثار عن ديناميكيات الغاز المعقدة التي تجري داخل كل مجرة، لكن هذا ليس صحيحا بالنسبة للمجرات التي لعلها برزت للوجود في حقبة من الزمان كان فيها الكون برمته أكثر كثافة، وربما مختلفا كثيرا عن عدم التجانس الذي كان هو طابع الكون في أطواره الأكثر تبكيرا.

١-٢ إلى أي مدى يصل التجانس في تركيب الكون على المقياس الكوني

تعد المجرات برمتها - من منظور عالم الكونيات - أكثر قليلا من مجرد نقاط من الضوء، تشير إلى كيفية توزع المادة في أرجاء الكون وكيفية حركتها. وتتجمع المجرات في عناقيد.. بعضها في مجموعات صغيرة (كمجموعة مجرتنا

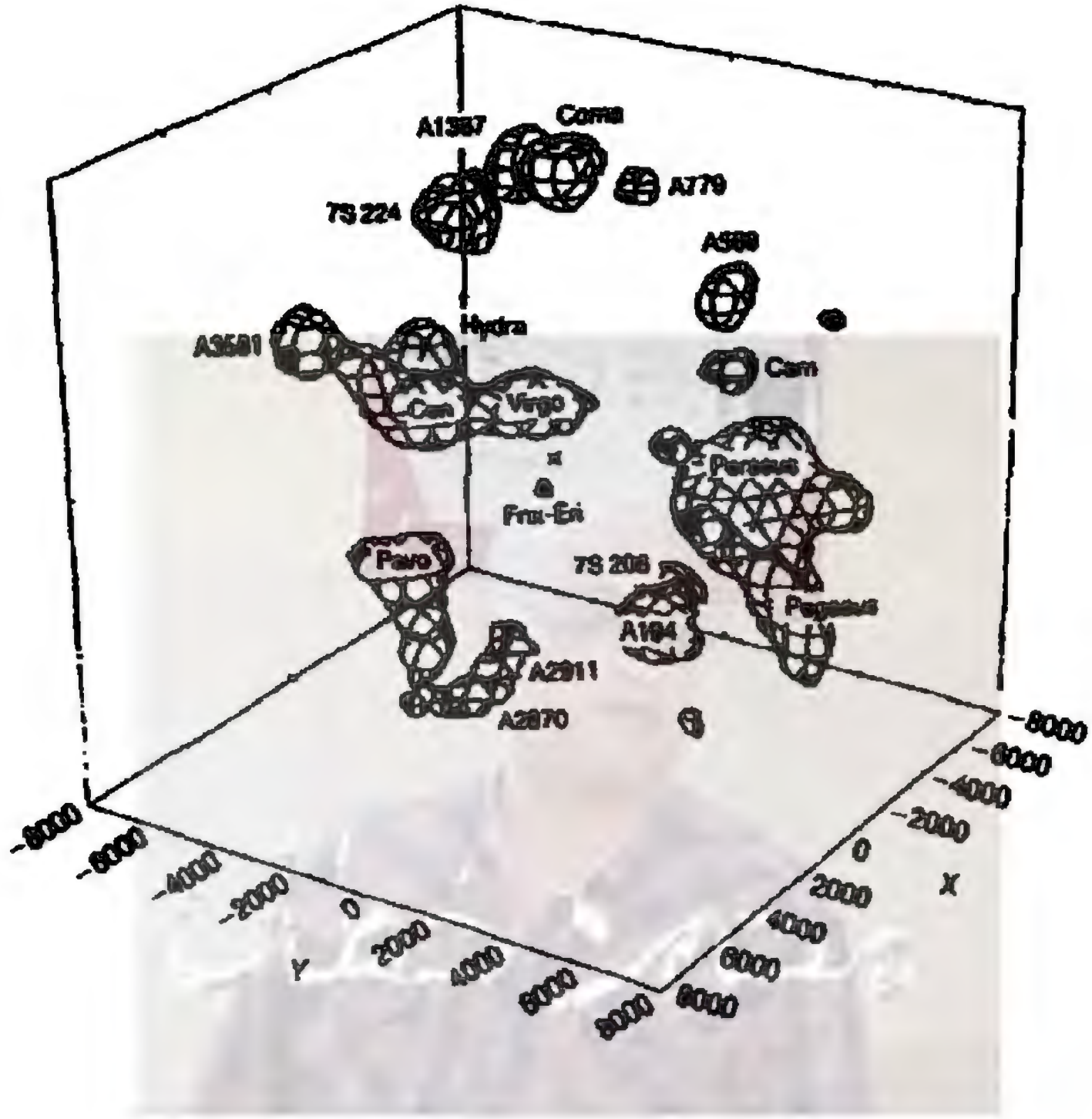
(*) السنة الضوئية هي وحدة طول تساوي المسافة التي يقطعها الضوء بسرعيته في الفراغ خلال سنة كاملة وتعادل حوالي ٦ مليون مليون ميل أو نحو ١٠ مليون مليون كيلومتر تقريبا. (المترجم)

نحن المحلية، حيث تمثل مجرتنا درب اللبانة، ومجرة أندروميدا(*) العضوين المسيطرين)، في حين تتجمع مجرات أخرى في عناقيد ضخمة تضم مئات الأفراد. وعلاوة على ذلك، تتجمع العناقيد المجرية بدورها في تجمهر فوق عنقودى يأخذ شكل شريحة أو صفيحة رقيقة. وقد تحقق تقدم عظيم في السنوات الأخيرة في دراسة وتقييم توزيع المجرات بعرض السماء، وكذلك في رسم خرائط لتكويناتها في ثلاثة أبعاد، ولقد استلزمت المهمة الأخيرة تحديد مقدار الانزياح في الأطياف ناحية الأحمر(**)، والمسافات التي تفصلنا عن آلاف المجرات.



(*) مجرة أندروميدا: أو مجرة المرأة المسلسلة أقرب مجرات السماء لمجرتنا، وتفصل بينهما نحو ٢ مليون سنة ضوئية (المترجم)

(**) الانزياح ناحية الأحمر (Redshift) ظاهرة تلاحظ في أطياف الأجرام التي تتحرك متباعدة عنا ويمكن عن طريقها تحديد سرعة هذا التباعد. (المترجم)



(شكل ١) أكثر العناقيد وما فوق العناقيد جلاءً داخل مكعب طول ضلعه حوالي 3×10^4 سنوات ضوئية (10^4 بارسك^(*)) مركزه مجرتنا المحلية. وهناك بطبيعة الحال الكثير من المجرات ذات توزيع أكثر انتظاماً في الفراغات بين التجمعات المبينة. ويبلغ البعد الطولي في النطاق الذي يصوره الشكل زهاء ٢% من حيز الجزء من الكون الذي بمقدور أروصادنا البصرية الوصول إليه. ربما كان هذا المكعب من الكبر بحيث يعطى عينة تمثل محتويات الكون تمثيلاً عادلاً وعلى مقياس أكبر ينخفض مدى (أو سعة) عدم التجانس كثيراً عن الواحد الصحيح. المصدر: م. ج. هـسون ١٩٩٣، الجمعية الفلكية الملكية، العدد ٢٦٥، ص ٤٣ - شكل ١٠.

(*) البارسك: وحدة مسافة تعادل ٣٦ و ٣ سنة ضوئية، أو نحو ٣٠ مليون مليون كيلو متر. (المترجم)

ويوضح الشكل رقم (١) التجمعات الرئيسية من المجرات في موضعنا المحلي من الكون، والذي يمتد لمسافة نحو 3×10^8 سنوات ضوئية. وتتوزع المجرات بصورة أكثر انتظاما في أجواز السماء لدى المسافات الأبعد من ذلك، فما من دليل على أن التفاوتات الضخمة في الكثافة تمتد لدى المسافات الأبعد. ولعل الحيز الذي يمثله الشكل (١) - بناءً على ذلك - من الكبر بحيث يعطى عينة تصور محتويات الكون على نحو عادل أصدق تصوير.

ليس لكوننا بالتأكيد وحدة بنائية بسيطة، تتراكم فيها عناقيد مجرية فوق عناقيد فوق عناقيد... وهكذا إلى ما لا نهاية. فهناك بالقطع حد أعلى للمقياس الذي يمكن عنده رصد عدم تجانس واضح، وتفاوت كبير في الكثافة. وأضخم التكوينات التي يبلغ فيها التفاوت في الكثافة $\frac{\Delta}{\theta}$ (*) الواحد الصحيح تقريبا أو يتجاوزه تمتد إلى ١ في المائة من قطر هابل (**)، والانحراف النمطي عند هذا المعدل من التجانس يصل لنحو ٣,٠%.

ويُعبر عن التفاوتات الطولية النمطية نتيجة وجود العناقيد المجرية، وما فوق العناقيد في صورة معامل غير ذي أبعاد (Dimensionless form)، باعتبارها طاقة جاذبية لكل وحدة كتلة، ناجمة عن زيادة في الكثافة، يعبر عنها بوحدات س^٢ (***) (مربع سرعة الضوء)^(٢). ولهذه الاضطرابات سعة ذنبية (ذ) من الرتبة 10^{-6} وسرعة تباعد المجرات (أو تدفق هابل Hubble flow كما

(*) $\frac{\Delta}{\theta}$ يمثل المقام θ في هذا الكسر متوسط كثافة الكون (مقدار المادة في وحدة الحجم منه) ويمثل البسط Δ مقدار التفاوت في هذه الكثافة. فالكسر ككل يعبر عن التفاوت النسبي في الكثافة. (المترجم)

(**) نصف قطر هابل: هو نصف قطر الجزء من الكون الذي بمقدورنا رصده، أو هو المسافة التي تصل عندها سرعة تباعد المجرات - نظريا - لسرعة الضوء. وقيمة نصف قطر هابل تساوي 10^{22} سنتيمترات. (المترجم)

(***) ترمز (س) هنا إلى سرعة الضوء في الفراغ والبالغة ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية تقريبا. (المترجم)

يطلق عليه) الذى تحدّثه هذه التكوينات لا يصل - كنمط عام - إلى ألف كيلو متر فى الثانية حيث إنها تساوى (1/ذ.س)^(*). والكتلة المكافئة لطاقة الحركة المصاحبة لهذه الحركات غير المألوفة (كما تسمى) ^(**) تكون فحسب 10^{-10} من الكتلة وهى فى حالة سكون وهذه القيمة 10^{-10} (وهى مقياس للتفاوتات الطولية فى كوننا)، ذات أهمية ستبرز فيما سيلي من الكتاب. ويعنى صغر هذه القيمة أن عدم التجانس الراهن فى الكون بسبب وجود العناقيد وما فوق العناقيد فى مواضع بعينها، من الضالة بحيث يتيح لنا أن نطبق - دونما خطأ يذكر - قوانين الجاذبية لنيوتن، والأمر الأكثر أهمية.. أن صغره يبرر ملائمة النماذج النظرية البسيطة التى تفترض كونا متجانسا فى كل الاتجاهات. وتعود تلك النماذج إلى العشرينيات من القرن العشرين.

ولقد عثر فريدمان^(**) على النماذج الأولى التى تتمشى مع نظرية النسبية فيما يختص بكون متجانس أخذ فى التمدد قبل أن يكتشف هابل تراجع السدم. إن عمل هابل الذى بين فيه أن الكون لا يشابه النموذج الاستاتيكي^(***) الذى كان

(*) يقصد بالحركات غير المألوفة Peculiar motions تحديدا هنا: تحركات المجرات الإهليلجية التى لا تخضع لقانون هابل من حيث تناسب بعد المجرة مع سرعة تباعدها عنا. (المترجم)
 (***) فى عامى ١٩٢٢، ١٩٢٤ نشر عالم الأرصاد الروسى ألكسندر فريدمان نماذجه النظرية لتطور الكون على أساس كثافة مادته وقسمها للآتى:

أ- إذا زانت كثافة المادة بالكون عن الكثافة الحرجة (والتي تقدر فى ضوء الأرصاد الحالية بزهاء $8 \times 10 - 20$ جرام لكل سنتيمتر مكعب، فالكون (مغلق) ذو سطح محدود من جميع الاتجاهات كروى الشكل وإن لم يكن له حواف، به عدد محدود من المجرات وقد بدأ من حيز صفري لدى الانفجار العظيم، ومع التمدد يصل إلى حد أقصى ثم يتقلص إلى حيز صفري مرة ثانية (استكشف فريدمان هذه الحالة عام ١٩٢٤).

ب- إذا قلت كثافة مادة الكون عن الحد الحرج فإنه يكون كونا مفتوحا يبدأ بانفجار عظيم، لكنه يتمدد إلى ما لا نهاية وبه عدد غير محدود من المجرات (استكشف فريدمان هذه الحالة عام ١٩٢٧).

ج- هناك حالة ثالثة وسط عند تساوى كثافة الكون مع الكثافة الحرجة فيكون الكون فى هذه الحالة مسطحا ويحوى عددا لانهايا من المجرات ويتمدد أيضا لما لانهاية. (أضاف هوارد روبرتسون من برنستون هذه الحالة الوسط عام ١٩٢٩). (المترجم)

(***) المسافات بين المجرات فى نموذج أينشتاين ثابتة لا تتغير، وهو ما ثبت خطؤه فيما بعد. (المترجم)

آينشتاين قد اقترحه من قبل، قد حض على دراسات تالية في علم الكونيات قام بها لومتر، وتولمان وغيرهما، استنادا إلى نظرية النسبية. غير أن البيانات كانت حينذاك - وظلت لعقود طويلة بعدها - شديدة التشتت والتبعثر، بحيث لم تتم عما إذا كان أى من هذه النماذج - التى تتسبب لها صفة المثالية - تلائم الكون الواقعى، ومن ثم فقد تعذرت المفاضلة بينها.

١. ٢ الأجرام ذات الانزياح الطيفى العالى صوب الأحمر:

طرح عمل هابل فكرة أن المجرات كانت - فيما مضى - مكدسة فوق بعضها- وأنها برزت للوجود من خلال "بداية" من نوع ما. بيد أنه لم يكن لديه دليل مباشر فيما يختص بالتطور الكونى، وإن كانت نظرية الحالة المستقرة^(*) Steady state Theory^(*) التى طرحت عام ١٩٤٨ تمثل بديلا لنظرية الانفجار العظيم big bang^(**) يمكن الدفاع عنه وتصور خلقا متواصلا لمادة جديدة ومجرات جديدة، بحيث لا يتبدل المشهد الكونى على الإطلاق- رغم تمدده.

ولتمحيص أى دراسة عن تطور للكون، ينبغي أن يسبر المرء الأشياء الموهلة فى البعد، حيث إن الضوء بدأ فى الانبثاق منها عندما كان الكون فى مراحله المبكرة وأصغر بكثير من عمره الآن. ويستوجب هذا دراسة الأجرام التى تبعد ببلايين السنين الضوئية ذات الانزياح الملموس لطيفها صوب الأحمر. لقد تم

(*) نظرية الحالة الثابتة أو المستقرة: Steady state theory تنص على أن هناك مادة جديدة تتخلق وتتشكل باستمرار مع تمدد الكون بحيث يبقى مبدأ (الكون المثالى). اعتبرت هذه النظرية بديلا لنظرية الانفجار العظيم ولكن تناقص عدد المؤيدين لها باكتشاف إشعاع الخلفية الكونية الميكروويفية. وضع هذه النظرية عام ١٩٤٨ العالمان النمساويان هيرمان يوندى وتوماس جولد والعالم البريطانى فريد هويل. (المترجم)

(**) النظرية الانفجارية أو الانفجار العظيم big bang: مؤداها أن مادة للكون كانت فى الأصل مركزة تركيزا شديدا، ثم لسبب ما حدث منذ نحو ١٣ بليون سنة انفجار شديد أدى إلى تناثر المادة فى جميع أرجاء الكون. (المترجم)

تطبيق برنامج لقياس مقدار التباطؤ في تمدد الكون منذ خمسينيات القرن العشرين فصاعدا عن طريق مراقب (تلسكوب) بالومار^(*) ذى المائتى بوصة قطرا. بيد أن النتائج لم تكن حاسمة، ويرجع هذا جزئيا إلى أن المجرات السوية ليست باللمعان الذى يسمح بقياس انزياح كبير صوب الأحمر كبرا كافيا. وقد كان رايل Ryle^(*) وزملاؤه من علماء الفلك الراديو هم الذين وجدوا - فى نهايات خمسينيات القرن العشرين - أول دليل حقيقى على أن الكون آخذ حقا فى التطور. وبوسع المراقب الراديوية أن تلتقط الانبعاثات من بعض المجرات النشطة غير المعتادة (والتي يعتقد حاليا أنها تحتضن فى مراكزها ثقوبا سوداء هائلة^(**)) حتى ولو كانت من البعد بحيث لا يمكن رؤيتها من خلال التلسكوبات الضوئية. ولا يمكن للمرء أن يحدد مقدار الانزياح نحو الأحمر أو المسافات التي تفصلنا عن هذه المصادر عن طريق القياسات فقط، ولكن رايل افترض - من الناحية الإحصائية على الأقل - أن تلك التي تبدو خافتة تقع على مسافات أبعد من تلك التي تبدو كثيفة، ولقد احتسب "رايل" الأرقام، أخذا فى الاعتبار كثافات ظاهرية متنوعة، ووجد أن هناك الكثير جدا من المجرات (وبعبارة أخرى المصادر) التي على أبعاد سحيقة والتي تبدو ظاهريا خافتة مقارنة بعدد المصادر الأكثر بريقا والأنى منا. كان هذا الأمر مزعجا بالنسبة لمناصرى نظرية الحالة الثابتة أو المستقرة ولكنه كان متوافقا مع تطور الكون، ما دامت المجرات كانت أكثر عرضة لأن تتأبها انفجارات عنيفة فى الماضى السحيق، حينما كانت - بعد - فى طور الشباب. إن ما تبع ذلك من اكتشاف "توى المجرات النشطة" أو الكوازارات^(***) ذات الانزياحات الطيفية

(*) مارتن Ryle (١٩١٨ - ١٩٨٤): فلكى راديو إنجليزي، ابتدع نظاما ثوريا فى المرقب الراديوى مكنه من رصد المصادر الراديوية الضعيفة. حصل على جائزة نوبل لعام ١٩٧٤. (المترجم)

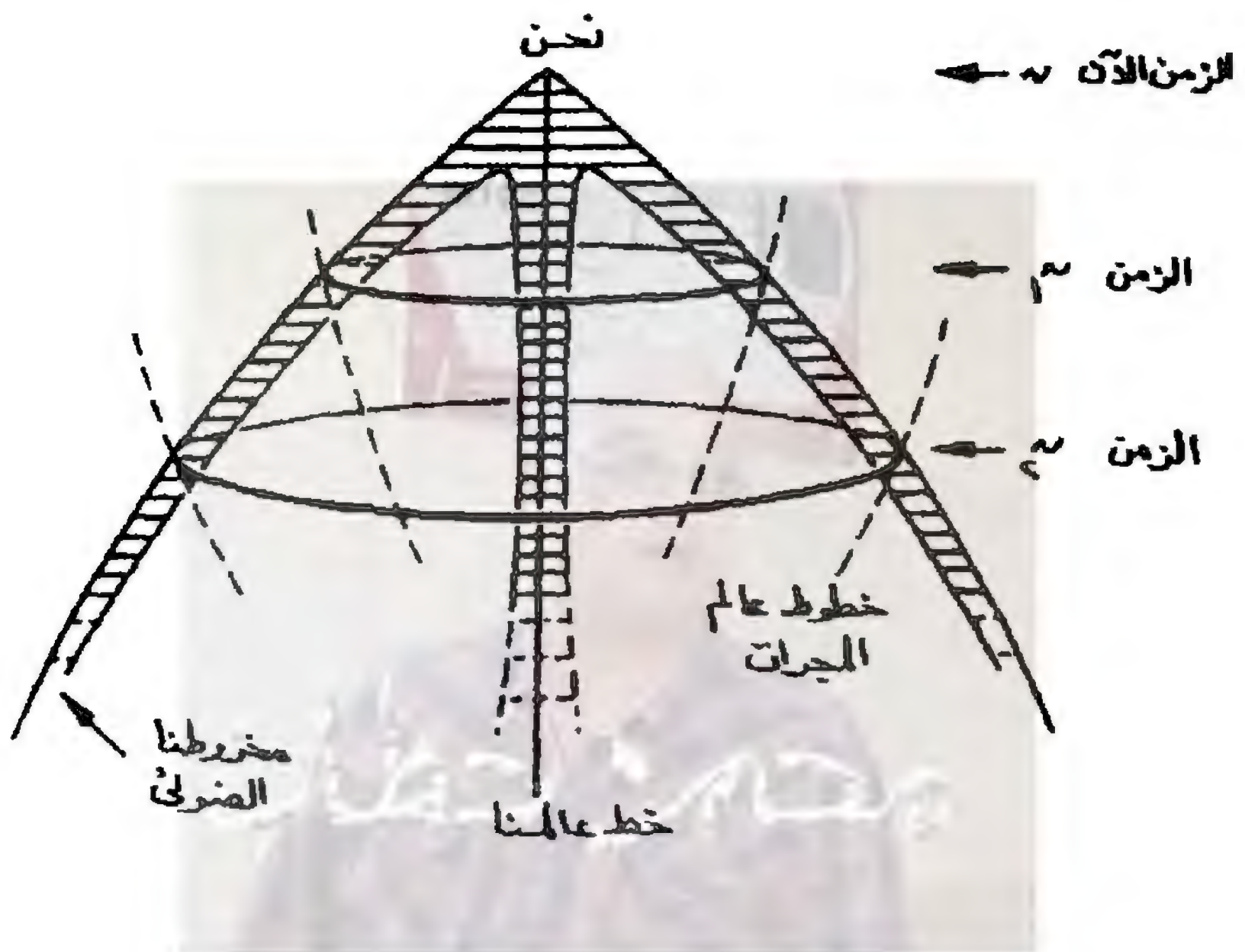
(**) الثقوب السوداء: أجرام فلكية عالية الجاذبية جدا بحيث لا يفلت منها حتى الضوء وبحيث تستحيل رؤيتها. (المترجم)

(***) الكوازار أو شبه النجم: هو جرم سماوى ساطع سطوع النجم، وهو فى الحقيقة مجرة صغيرة كانت موجودة فى الكون المبكر، ولا تشاهد الكوازارات إلا فى تخوم الكون النائية حيث بدأ الضوء رحلته منها إليها مع نشأة الكون. (المترجم)

الكبيرة نحو الأحمر، قد أقام الدليل على صدق حدسية رايل ودعمها، بيد أننا مازلنا نفتقر بشدة إلى فهم هذه الأجرام وتطورها حتى نستعمل تلك الحدسية في تحديد البنية الهندسية للكون.

بمقدور علماء الفلك - بالغوص عميقاً في أجواز الفضاء - أن يدرسوا تلك المناطق من الكون التي انبعث منها الضوء منذ أمد بعيد. ولو أننا كنا نحيا في كون موحش، مفرط في عدم تجانسه لما كان هناك وجه للتساؤل عما إذا كانت هذه الأصقاع القصية (والطريقة التي قد تطورت بها) تحمل أى تشابه لموقعنا نحن المحلي من الكون. على أية حال، وبقدر معارفنا الآن، فإن هذا الكون الذى ألفينا أنفسنا نحيا فيه (أو على أقل تقدير الجزء من الكون الذى يسعنا أن تصل إليه أرسادنا)، جد منتظم ومتجانس، وبمقدورنا تطبيق القوانين الكينماتيكية الشاملة عليه، وبمعامل قياس واحد للزمن: م (ن)، فقد تطورت كل الأجزاء بنفس الطريقة، ولها ذات التاريخ (انظر شكل ٢).

وتزودنا هذه البساطة بمبرر نعتقد بموجبه أننا حين نرصد نطاقاً ما من الكون يقع - مثلاً - على بعد ٣ بلايين سنة ضوئية فإن ملامحه العامة (مثل الخواص الإحصائية للمجرات، وطبيعة تجمعاتها العنقودية، إلخ) تشبه تلك التى كانت تبدو منذ ٣ بليون سنة فى ذات موقعنا المحلي (أى فى نفس النطاق الذى يصوره شكل رقم ١).



شكل (٢)

مخطط بياني للزمان - المكان (الزمكان)^(*) يوضح خط عالم مجرتنا ومخروط ضوء الزمن الماضي. إن النطاقات الوحيدة في مخطط الزمكان هذا التي لدينا برهان مباشر عليها هي تلك المظلمة بالشكل أي التي تقع إما قريبا من خط عالمنا الواقعي (بالاستدلال من التاريخ الكيميائي والديناميكي لمجرتنا، والأدلة الجيولوجية وما إلى ذلك) وإما بامتداد مخروط الماضي بالنسبة لنا (بالأدلة الفلكية). وبسبب التجانس الشامل فقط يمكننا أن نفترض - عن ثقة - أية مشابهة بين

(*) نحت لفظ "الزمكان" من كلمتي الزمان والمكان ككلمة تعبر عن مدلولهما معا، باعتبار الزمان بعدا رابعا يضاف إلى الأبعاد المكانية الثلاثة المعتادة. (المترجم)

المجرات القاصية (والتي يصلنا الآن ضوءها) وبين التاريخ الباكر لمجرتنا نحن. بوسعنا - في الأكوان المتجانسة أن نعرف نفس المقاييس الطبيعية للزمن، بحيث تتشابه جميع أرجاء الكون ويكون لها جميعا قيمة بعينها للزمن (ن).

يحظى الفلكيون بميزة تميزهم عن الجيولوجيين، إذ بوسعهم رصد الماضي مباشرة. ولقد سجل تقدم مشهود في تقنيات سبر الأجرام الخافتة والموغلة في البعد، وتحقق أول تقدم عندما حلت المجسات الصلبة CCD solid state detectors محل الألواح الفوتوغرافية، فحساسية الأولى تزيد بأكثر من خمسين مرة على حساسية الثانية فيما يختص بقياس الأطوال الموجبة المرئية وتلك القريبة من المنطقة تحت الحمراء. ولقد عزز ظهور الجيل الجديد من التلسكوبات بمراياها ذات العشرة أمتار قطرا، من قدرات الفلكيين في دراسة الضوء الآتي من الأجرام الخافتة (استكمل العمل في مرقابي كيك Keck بهاواي^(*)، كما يجري بناء عدة تلسكوبات أخرى في الوقت الراهن.

تظهر أكثر المجرات خفوتا وبعدا بعرض يصل نمطيا إلى ١ إلى ٣ ثوان قوسية^(**)، وتبدو أوضح قليلا من مجرد لطح أو بقع غبشاء عندما تشاهد من على الأرض، لأن التقلبات الجوية تُلطخ حتى المصدر - وهو مجرد نقطة - عبر كسر محسوس من الثانية القوسية. غير أن مرقاب هابل الفضائي^(***) - بعد أن عدلت عدساته الضوئية عام ١٩٩٤ - قد أعطى صوراً أكثر وضوحا. ولقد تم العثور على صورة مفردة مذهلة في روعتها (أطلق عليها مجال هابل العميق^(****))

(*) مراقبا كيك Keck: يقع مرصد كيك الفلكي قرب قمة جبل ماوناكيا في هاواي على ارتفاع ٤١٤٥ مترا، وبالمرصد مرقبان تم بناؤهما عامي ١٩٩٣، ١٩٩٦ على التوالي. ومراة كل منهما يبلغ قطرها ١٠ أمتار مما يجعلهما أكبر مرقابين بصريين في العالم. (المترجم)

(**) الثانية القوسية هي زاوية تساوي جزءا من ٣٦٠٠ جزء تقسم لها الدرجة الستينية الواحدة. (المترجم)

(***) تلسكوب هابل الفضائي: Hubble space telescope: مرقاب أطلق في أبريل ١٩٩٠ بالتعاون ما بين وكالة ناسا ووكالة الفضاء الأوروبية. (المترجم)

(****) مجال هابل العميق: صورة لمنطقة محدودة من الفضاء تحتوي على نحو عشرة آلاف مجرة، رصدها تلسكوب هابل الفضائي وجمع بيانات عنها ما بين ٢٤/٩/٢٠٠٣=

Hubble Deep Field) بتوجيه المراقب لفترة تربو على الأسبوع شطر نفس
الرقعة من السماء (١٥).

وتستكشف الأرصاد ذات هذا المستوى العالي من الحساسية عدة مئات من
المجرات ذات تنوع واسع من حيث البنى والتراكيب، ضمن بقعة تصل سعتها على
دقيقة قوسية مربعة. لقد قيست الانزياحات صوب الأحمر للكثير من هذه المجرات
باستخدام تلسكوب (كيك) (مب). وفي كثير من الأحوال تزداد أطوال الموجات ما
بين انبعاثها (ل) وبين استقبالها الآن (ن). والمعامل بين الطولين ل ن: ل ع يسمى
بمعامل المقياس الكوني (٥) (م) Cosmic scale factor (٥) وهو يزيد على القيمة
(٤)، ويساوى $1+z$ ، حيث ز هو معامل انزياح الطيف صوب الأحمر Redshift.

وتتزاوح حافة الامتصاص عند (حد ليمن) Lyman limit (**) (ومقداره:
٩١٢ إنجستروم) (***) ناحية النطاق المرئي، وهي حقا الملمح البارز في الطيف.
لقد اكتشفت نماذج أكبر لمجرات ذات انزياح كبير صوب الأحمر باستخدام هذا

= ٢٠٠٤/١/١٦، حيث تجمعت في هذه الصورة صور مجرات ذات أعمار وأشكال وألوان
وأحجام متباينة. فبعض المجرات تعود إلى زمن موغل في القدم، إذ تشكلت عقب الانفجار
العظيم (قبل نحو ١٣ بليون عام)، بنحو ٤٠٠ إلى ٨٠٠ مليون عام. (المترجم)
(*) معامل المقياس الكوني م = ل ن (الطول الموجي كما نرصده الآن) ÷ ل ع (الطول الموجي
عند الانبعاث) ويساوى $1+z$ ، حيث ز هو معامل انزياح الطيف صوب الأحمر Redshift:
ز = (ل ن - ل ع) ÷ ل ع وهو دالة في الزمن تمثل التمدد النسبي في الكون. يمكن اتخاذ
المقياس (م) للتعبير - بصورة تقريبية للغاية - عن حيز الكون، وبالتالي عن تغير كثافة مادة
الكون. (المترجم)

(**) حد ليمن في الفيزياء يناظر الطاقة اللازمة لكي ينتقل إلكترون ذرة الهيدروجين من الحالة
الأرضية ليهرب من حاجز الجهد الكهربى، وينتج الأيون. وهذه الطاقة تكافئ ١٠.٧ م
١ - (ثابت ريذبرج). ويمكن تعريف حد ليمن بأنه نهاية نطاق الطول الموجي القصير في
(سلسلة ليمن) واصطلح على أن مقداره ٩١٢ نانومتر. وسلسلة ليمن هي متسلسلة رياضية
بين طول الموجة في طيف الانبعاث أو الامتصاص للهيدروجين الذرى وسميت باسم مكتشفها
وخط ألفا ليمن هو أول خط انبعاث وأكثر الخطوط وضوحا. (المترجم)
(***) الإنجستروم: وحدة طول تساوى ١٠ - ٨ سنتيمتر. (المترجم)

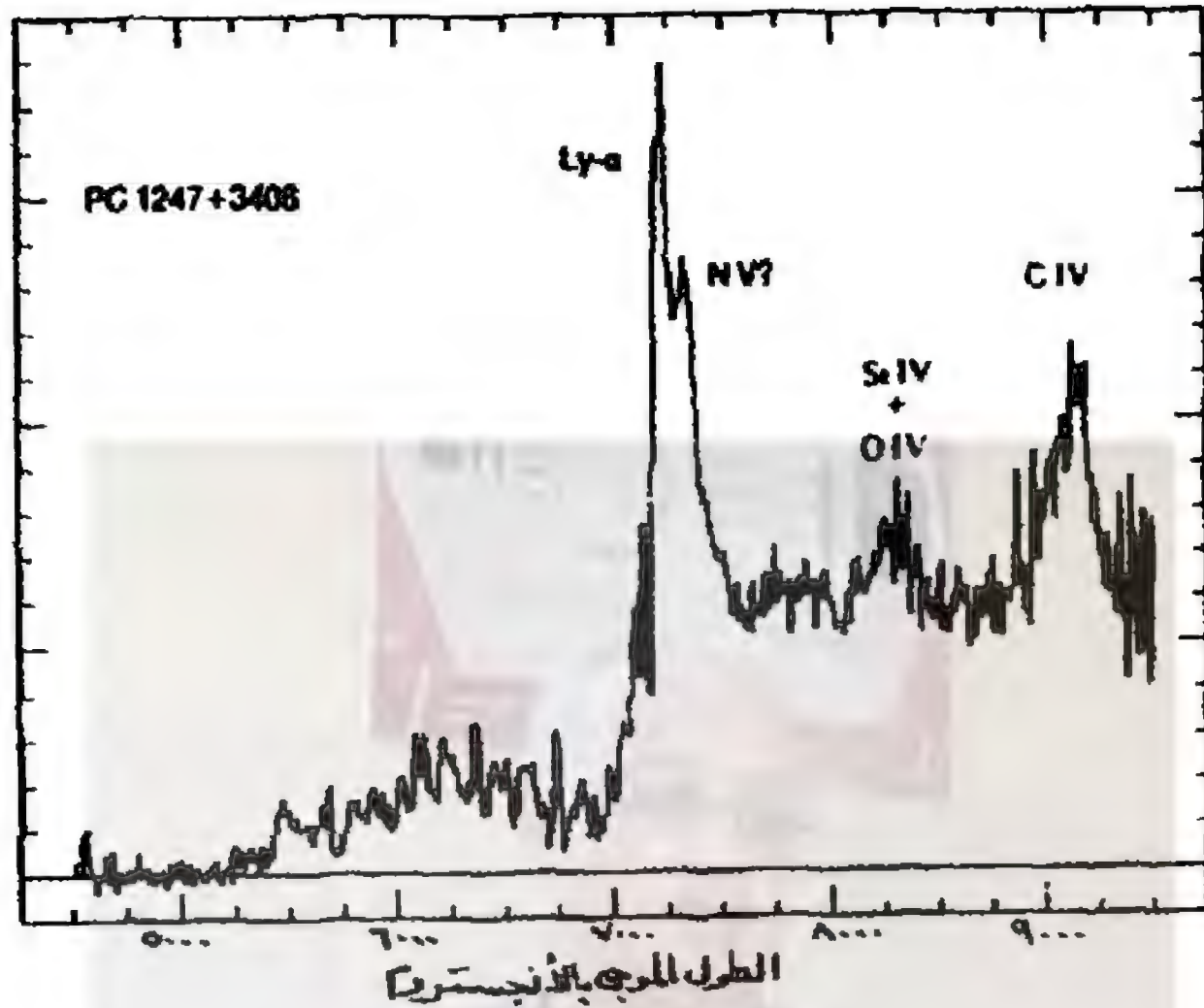
الملح الطيفي المميز (منزاحة صوب الجانب الأزرق من الطيف المرئي) بوصفها علاقة دالة على وجود مجرات.

لقد انبثق الضوء من هذه المجرات القصية عندما كان الكون مازال فتيا عما هو الآن. ونحن نرصدها في مرحلة كانت فيها حديثة التكون، وليس بمدعاة للعجب أن نجدها جد مختلفة عن المنظومات الأقرب لنا. لقد تحقق تقدم مذهل - منذ نهاية تسعينيات القرن العشرين - في رصد المجرات ذات الانزياح الهائل صوب الأحمر. وليس رصد الأجرام ذات انزياح أحمر كبير - في حد ذاته - بالجديد، فالكوازارات (أشباه النجوم)، وغيرها من النوى المجرية النشطة (وعلى سبيل المثال المصادر الراديوية ذات الشدة العالية) والمراكز ذات النشاط الزائد لمجموعة فرعية خاصة من المجرات، يزيد لمعانها عن كل ما تحتويه المجرة الأم من نجوم بمعامل قد يصل إلى عدة آلاف، وهي من التآلق بحيث يمكن لتلسكوب متوسط الحجم أن يلتقط أطرافها ذات النقاء العالي. وكمثال مبكر على الكوازارات ذات الإزاحة العالية نحو الأحمر: الكوازار PC 1247+3406^(*) ذو المعامل $z = 4.89$ ، والذي يوضح شكل ٣ طيفه: ويشاهد الخط (ألفا ليمان)^(**) (١٢١٦ إنجستروم) في المنطقة الحمراء عند طول موجي ٧٢٠٠ إنجستروم تقريبا.

ولتقدير عمر نسبي للكون - عندئذ والآن - يحتاج المرء لمعرفة ديناميكيات عملية التمدد، وبصفة خاصة، إلى أي مدى وصل تباطؤها. وإذا لم يكن هناك تباطؤ على الإطلاق فإن من شأن الكون أن يكون أصغر عمرا عندما انبثق الضوء بمعامل ١ + z يساوي ٥.٨٩.

(*) هو شبه نجم اكتشف عام ١٩٩١. (المترجم)

(**) خط ألف ليمان: متسلسلة ليمان عموما هي فئة من الموجات فوق البنفسجية يمتصها الهيدروجين الذري والخط ألفا ليمان هو أشد الخطوط وأكثرها وضوحا ويظهر بطول موجي = ١٢١٦ إنجستروم ويُنظر ذبذبة ترددها ٤٧ و ٢ x ١٠ ١٥ هيرتز. (المترجم)



شكل (٣)

منحنى الطيف الخاص بشبه النجم (الكوازار) (PC 1247+3406) ذو معامل انزياح صوب الأحمر (ز) = ٤,٨٩. لقد بدأ الضوء المنبعث من هذا الجرم رحلته إلينا عندما كان معامل المقياس الكوني (م) أصغر من قيمته الآن بمقدار ١+ز أى ٥,٨٩ مرة. وطبقا لنموذج أينشتاين - دي سيتر فلا بد وأن عمر الكون وقتئذ كان ٧٪ من عمره الحالي. (منقولة عن شنايدر دي بى، شميدث إم، جن جى إى، ١٩٩١ المجلة الفلكية - العدد ١٠٢ - ص ٨٣٧).

وعلى أية حال، فتمدد الكون - طبقا لنماذج فريدمان - فى تباطؤ. وفى كونيّات أينشتاين - دي سيتر^(*) الجذابة نظريا، يتناسب معامل قياس الزمن الكونى (م) مع الزمن مرفوعا للأس ٢/٣ (م تتناسب مع ن ٢/٣).

(*) نموذج أينشتاين - دي سيتر Einstein- de sitter model: هو نموذج نظرى كونى يفترض كونا متجانسا فى جميع الاتجاهات ثابتة الكونى يساوى صفرا. (المترجم)

فالضوء الذى يصلنا الآن من الكوازار (PC1247+3406) طبقا للنموذج، ينبغي أن يكون قد انبثق عندما كان الكون أصغر بمعامل $= (5.89)^{2/3}$. وهكذا بوسع الفلكيين أن يسبروا آخر ٩٠٪ من تاريخ الكون. يخبرنا وجود هذه الكوازارات أنه عندما كان عمر الكون 10^9 سنة كانت بعض المجرات المسنة (أو على الأقل مناطقها الداخلية)، قد تشكلت سلفا، وأن أحداثا خاطفة فى مراكزها قد أدت إلى تلك النوعية المتطرفة من النوى النشطة التى تمثلها ظاهرة الكوازار.

ومن المفترض أن المجرات الأم (الحاضنة) قد تكونت قبل الكوازارات نفسها. وعلاوة على ذلك، إذا كان تكون المجرات قد تسلسل فى نسق هرمى، فمن المفروض أن تتكون المجرات الأصغر (والتي هى أصغر من أن تحتضن مثل هذه الكوازارات القوية) فى مرحلة أكثر تبكيرا. وعلى ذلك فالشواهد جد قوية على أن نتوقع وجود مجرات ذات انزياح ملحوظ نحو الأحمر يتعدى مؤشرها (ز) الرقم (٥). وينبغي أن تكون هذه المجرات - بصفة عامة - شديدة الخفوت، أشد خفوتا من أن نحصل منها على طيف ذى نوعية عالية، حتى باستخدام تلسكوب ذى قطر ١٠ أمتار، على كل حال فقد عثر على بعض الأجرام الخافتة والمشوشة ذات قيمة للمعامل (ز) أكثر من ٥، بعد أن استعمل التكنيك الذى ثبت نجاحه فى العثور على مجرات ذات قيمة $z=3^{(11)}$ ، مع الانزياح الأكبر صوب الأحمر. والتكنيك الآخر المستخدم فى العثور عليها هو استعمال مصفيات (فلتر) للأجرام التى يظهر تحليل أطيفها الحمراء مع نسبة تفريق منخفضة خطأ هو فى الواقع خط (ألفاليمان) (^{11}b) ، مع انزياحه بصورة كبيرة صوب الأحمر. لقد كشفت هذه المحاولات فعلا العديد من المجرات أقصى بعدا من الكوازار PC 1247+3406.

وفى حالة أو حالتين ساعدت على هذا الكشف الصدفة السعيدة. فهذه المجرات تشاهد طبقا لتأثير العدسة المحدبة gravitationally lensed (^{11}a) (انظر

(*) يقصد بتأثير العدسة المحدبة إمكان رؤية هذه المجرة رغم وجود عنقود مجرى يعترض امتداد خط البصر إليها، بسبب انحراف الضوء الصادر منها حول حواف هذا العنقود المجرى وتجمعه حتى يصل لنا وكما سيتم شرحه تفصيلا فى الباب الثانى. يرجى العودة إلى شكل (١١). (المترجم)

الباب الثاني)، حيث يقع عنقود مجرى على امتداد خط البصر إليها (٢٦). وليس من الواضح ما هو أقصى مدى يمكن أن يصل إليه انزياح طيف مجرة ما نحو الأحمر، فذلك يعتمد على كيفية وتوقيت بدء تكون نجومها، وهو موضوع سيناقش بصورة أوسع في الباب الخامس.

ويهيئ الضوء القادم من الكوازارات البراقة وسيلة سبر مهمة للأوساط التي تتداخل فيما بيننا وبينها، فخطوط الامتصاص من الطيف إلى الجانب الأزرق من خط ألفا ليمان) تشير إلى سحب من غاز تقع على امتداد خط الرؤية. ومن المحتمل أن هذا الامتصاص قد تسببت فيه المجرات المبكرة الأولى والتي يشتد خفوتها بحيث لا يمكن مشاهدتها عن طريق انبعاثاتها المباشرة (وحيث لم تتشأ - ربما- نجوم بعد). والعلاقة التي تربط هذا الامتصاص بالانزياح صوب الأحمر تهيئ مفاتيح مهمة للكيفية التي مرت بها مراحل تشكل المجرة. وسيناقش هذا بصورة أوسع في الباب الخامس.

١ - ٤ تاريخ ما قبل المجرات:

ولكن ماذا عن الحقب الزمانية الأكثر تكبيرا، قبل أن تتكون أية مجرات؟ هل حقا برز كل شيء للوجود من بداية كثيفة (وربما مفردة) منذ زهاء ١٠ أو ١٥ بليون سنة خلت؟ إن البرهان الدامغ على ذلك يعود إلى عام ١٩٦٥، عندما نشر بنزياس وويلسون^(٧) بحثهما الكلاسيكي الذي يعلن عن استشعار درجة حرارة فوق المعتاد في الفضاء بين المجرات عند تردد ٤٠٨٠ ميغا سايكل/ث. فالفضاء هناك ليس مطلق البرودة، لكن له درجة حرارة تصل إلى نحو ٣° على مقياس كلفن. وقد لا يبدو هذا بالمقدار الكبير، على أنه يستدعي وجود حوالي $10 \times 4^{\text{هـ}}$ فوتون في كل متر مكعب (ربما بليون فوتون مقابل كل ذرة في الكون).

لقد أدى اكتشاف خلفية الموجات فائقة الصغر^(*) إلى قبول عام لما يطلق عليه في علم الكونيات "الانفجار الساخن العظيم"، وهو بمثابة تحول فجائي وعنيف في إجماع علماء الكونيات، مثله مثل تحول آراء الجيوفيزيائيين لمصلحة مفهوم الترحزح القارى والذي حصل في نفس الوقت تقريبا. ولم تتقبل فكرة الإشعاع الخلفى للموجات فائقة الصغر بقبول حسن إلا على أساس افتراض كونها بقايا لحقبة زمنية كان الكون كله خلالها ساخنا، كثيفا ومعتما. وعلاوة على ذلك كان التجانس الكبير والأصيل فى الإشعاع يعنى أن النماذج الحسابية البسيطة كانت تقريبا أفضل صورة حقيقية للكون.. صورة أفضل من النماذج التى وضعها المنظرون فى عشرينيات وثلاثينيات القرن العشرين. ولقد دعمت القياسات التى أعقبت ذلك لهذه الخلفية والتى أجريت بدقة متزايدة وعلى نطاق أطوال موجية متنوعة هذه الخلاصات والاستنتاجات.

ولقد بات طيف الإشعاع الآن مألوفاً - فى المقام الأول بفضل النتائج المشهودة لـ "ماثر" ومعاونيه، باستخدام تجارب المقياس الطيفى FIRAS (اختصار Far Infrared Absolute Spectrophotometer) على القمر الصناعى COBE. وغدا معروفا أن طيف الإشعاع ينحرف عن إشعاع الجسم الأسود^(**) بأقل من جزء من عشرة آلاف جزء. وكانت أكثر درجات الحرارة مواعمة هى ٢,٧٢٦ درجة على مقياس كلفن.

وقد أوضحت القياسات التى أجرتها مجموعات متعددة^(٩-١٢) أن الإشعاع متجانس بصورة جوهرية فى جميع الاتجاهات إلى حد أجزاء قليلة من مائة ألف جزء، وإن كان هناك عدم تجانسات واضحة على المقياس الزاوى تصل ما بين

(*) إشعاع الموجات فائقة الصغر الخلفى microwave background radiation: نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسى الذى يملأ الكون، وهو بمثابة بصيص خافت أقصى لمعان له فى نطاق الموجات متناهية الصغر من الطيف الراديوى، تبقى منذ الانفجار العظيم. (المترجم)

(**) الجسم الأسود black body هو الجسم الذى يمتص كامل الإشعاع الساقط عليه دون أن يعكس أى جزء منه (المترجم).

٣، ٩٠، من الرتبة ١٠ - ° (ويحتوى الفصل الثالث على بعض التضمينات الكمية عن ذلك).

وفى المراحل المبكرة ذات الكثافة العالية، لا بد وأن الإشعاع بقى فى حالة اتزان حرارى مع المادة المتناثرة المنبعثة من الإلكترونات الحرة التى لا بد وأن كثافتها كانت مرتفعة ارتفاعا يكفى كى يكون الكون معتما. على أنه عندما بردت المادة بفعل التمدد إلى ما نون درجة ٣٠٠٠ على المقياس المطلق (عندما كان معامل مقياس الزمن الكونى واحدا من الألف من قيمته الآن) لا بد وأن البلازما الأصلية الابتدائية عادت إلى الاندماج^(*)، مخلفة عددا قليلا من الإلكترونات الحرة. ولعل (الضباب) الكونى كان قد انقشع آنئذ، وغدا الكون شفافا، وربما ظل كذلك حتى وقتنا هذا (انظر الباب الخامس). إن فوتونات الموجات فائقة الصغر التى نستشعرها عن طريق التجربة، هى (رُسل) مباشرة قادمة لنا من حقبة كان انضغاط الكون فيها أكثر من الآن بقحو ألف مرة، وكان قد مضى على بدء تمدد الكون نحو نصف المليون عام. ولكن الفوتونات مازالت فيما حولنا، تملأ الكون، فليس لها من مكان آخر تذهب إليه. ويمثل (العدد الكونى) Cosmic number وهو النسبة بين الفوتونات إلى الباريونات^(**) (١/٢) مؤشرا مهما، يبقى ثابتا فى الأساس خلال التمدد الكونى، وبسبب كبر هذه النسبة يشير كثير من المؤلفين إلى الانفجار العظيم بعبارة الحار (الساخن).

(*) البلازما هنا هى حالة المادة فى درجات الحرارة المرتفعة جدا حيث تتفصل النوى عن إلكتروناتها، وإعادة الاندماج تعنى عودة الإلكترونات للنوى ثنائية، وقد وقعت عودة الاندماج هذه حسب تقديرات العلماء بعد نحو ٣٠٠٠٠٠٠ سنة من الانفجار الأعظم. (المترجم)

(**) الباريونات جسيمات نون نرية تشترك فى التفاعلات القوية وتتألف من ٢ جزيئات افتراضية كل منها له شحنة تساوى ثلث أو ثلثى شحنة الإلكترون وأهم أنواعها البروتونات والنيوترونات. (المترجم)

يحمل الكون بالمثل (حفريات) مهمة أخرى عن حقبة كونية أكثر تبكيرا بكثير من عودة الاندماج: وهى العناصر الخفيفة مثل الديتوريوم^(*) والهليوم^(**) والهليوم ، والليثيوم^v. وفي خلال الدقيقة الأولى من التمدد الكونى حينما كانت درجات الحرارة وفى فوق ١٠^٩ كلفن، لا بد وأن التفاعلات النووية قد (صنعت) هذه العناصر، بنسب يمكن حسابها- من البروتونات والنيوترونات. وتتغير كثافة الباريونات فى كون متمدن طبقا للعلاقة $d^2 \propto m^{-2}$ (مربع درجة الحرارة المطلقة d يتناسب مع مقلوب مكعب مقياس الزمن الكونى m)، ومن ثم فلا بد وأنها كانت أعلى بمقدار (١٠^{٢٧}) منها الآن، عندما كانت $d = 3 \times 10^9$ درجة مطلقة، ولكن حتى وفقا لذلك، فإن الكثافة لا تصل لكثافة الهواء.

لا ينبغي أن يحمل المرء هما بسبب المشاكل المتعلقة بكثافة مادة الكون فطاقات التفاعلات النووية ذات العلاقة أقل من ١ ميجا. إلكترون فولت^(***) ولا تتضمن أية استنتاجات غير مؤكدة خارج نطاق التجريب العملى. وفى ستينيات القرن العشرين أجريت تلك الحسابات^(١٢) التى تبين كيف تتوقف مدى وفرة العناصر الخفيفة، على متوسط كثافة الباريونات فى الوقت الراهن، وعلى عدد أصناف النيوتريونات^(****)، إلخ... ورغم التعديلات التى أدخلت على هذه الحسابات^(١٤)، فلم يتبدل شىء جوهري على الصعيد النظرى فى خلال آخر ٢٥ سنة. ويبدو أن التفاعلات النووية الأصلية فى النجوم وانفجارات السوبر نوا،

(*) للديتوريوم: نظير ثقيل ومستقر للهيدروجين تحتوى نواته على نيوترون واحد وبروتون واحد. (المترجم)

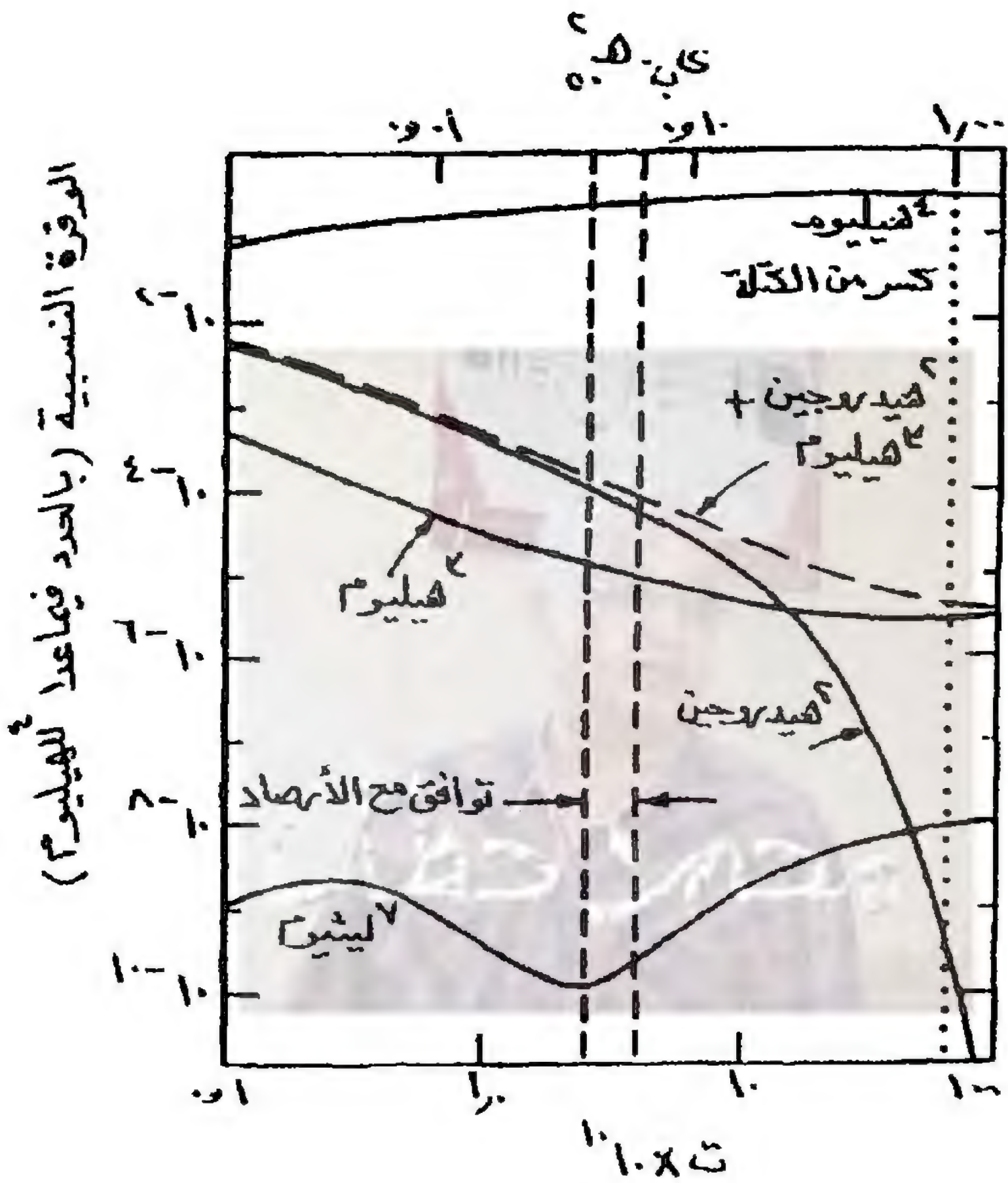
(**) الهليوم ٣ نظير هليومى شديد الندرة (٤ و ١ جزء فى المليون) تحتوى نواته على بروتونين ونيوترون واحد. (المترجم)

(***) الميجا إلكترون فولت Mev: وحدة طاقة تساوى ١.٦٠٢١٧٦ و١٠، ١٣ - جول. (المترجم)

(****) النيوترينو: جسيم أولى أصغر بكثير جدا من الإلكترون ليست له شحنة كهربائية، استنبط العلماء وجوده عند تحلل بعض العناصر المشعة، حيث حدث فقدان فى الطاقة، فافترض العالم الأمريكى بأولى عام ١٩٣٠ وجود هذا الجسيم الصغير الذى يحمل معه هذا الفارق فى الطاقة. وسيأتى الحديث عنه فى الباب الثانى. (المترجم)

ونظرية عودة تكون نجوم جديدة، والتي وُضعت في خمسينيات القرن العشرين^(١٤)،
قادرة على تفسير تكون العناصر الأكثر ثقلًا مثل الكربون والأكسجين والحديد^(١٥).
على أن النسبة العالية من الهليوم وانتظامها وتجانسها النسبي مثل دوما مشكلة
مطروحة. وعليه، فقد كان اعتبار أن الهليوم هو العنصر الوحيد الذي تولد بغزارة
إبان الانفجار العظيم، فرضًا مُرضيًا ومكملاً لبحوث العلماء. وفي سبعينيات القرن
العشرين، تم - بصورة صحيحة - تقدير المشاكل الفيزيائية الفلكية حيال تكون
الديتيريوم (والذي تتناقص وفرته خلال دورة حياة النجوم ثانية - حيث يعتقد أن هذا
النظير هو الآخر من الأحافير الكونية^(١٦)).

لم يتمكن الفلكيون إلا حديثًا، من تحديد مدى وفرة العناصر الخفيفة في
النجوم المسنة (الأقدم عمرًا)، والسدم الغازية وما إليها، تحديدًا دقيقًا بالدرجة الكافية
التي تسمح بإجراء مقارنة لها أهميتها بالتنبؤات المبنية على أساس نظرية الانفجار
العظيم. وبوجه خاص فإن وفرة الهليوم يتم الآن استقصاؤها بدقة تقارب ١%.
وتعطي قياسات وفرة الديتورיום في مجرتنا المحلية حذا أقل لوفرتة في الأزمنة
الابتدائية. فلا بد وأن نسبة لا يمكن التأكد من مقدارها قد فُتيت خلال عمليات نشوء
الأجيال المبكرة من النجوم. ويا له من تقدم مهم عندما أتاح تلسكوب كيك Keck
للفلكيين أن يلتقطوا أطيفًا بالغة النقاء لأشباه النجوم (الكوازارات) بحيث أمكن
قياس خطوط الديتورיום الضعيفة والتي ترحزحت من نطاق خطوط الهيدروجين
القوية زحزحه نظائرية تكافئ ٨٠ كم / ث. ويرجح أن هذه الأرصاد التي تعود
إلى انتشار غازات في الحقب المبكرة ستزودنا بتقدير لوفرة الديتورיום في مراحل
النشأة الأولى، أدق مما تعطيه القياسات المحلية.



(شكل ٤)

درجة وفرة العناصر الخفيفة المنتبأ بتولدها وفقا للنموذج القياسى لنظرية الانفجار الأعظم الساخن"، باعتبارها دالة فى نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت). لاحظ أن هناك نطاقا محددا للنسبة ت تعطى الحسابات داخله وفرة فى ${}^7\text{Li}$, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$, D تتوافق مع الأرصاد. (منقولة عن شرام دى. إن. - ١٩٩١ - كتاب "بعد أول ثلاث دقائق" هولت إس إس وآخرون (المعهد الأمريكى للفيزياء - نيويورك، ص ١٢).

وما هو مشهود - وطبقا لشكل (٤) - أن درجة وفرة العناصر الخفيفة تظهر جميعها متوافقة مع تنبؤات نظرية الانفجار العظيم فيما يختص بتكون النوى nucleosynthesis علما بأن كثافة الباريونات في حدود 10^{-3} إلى 10^{-2} باريون لكل متر مكعب (وهي كثافة متفقة مع ما نرصده). كان من الممكن أن تكون الوفرة المقيسة هي نفسها في كل مكان أو أن تدل على كثافة كونية متوسطة فيما مضى. وعلى ذلك فإن حسابات تكون النوى هذه تقدم تبريرا قويا لكي توسع مدى نموذج الانفجار الأعظم النمطي إلى الوراء.. إلى درجة حرارة د بحيث إن $D = 1$ ميجا إلكترون فولت^(*) وأعتقد أن الأساس في هذا الاستقراء ينبغى أن يؤخذ على محمل الجد شأنه -كمثال- شأن التاريخ المبكر للأرض الذي يؤسس على استدلال غير مباشر من دراسات علماء الجيولوجيا والباليونتولوجيا^(**). وهو استدلال نوعي أكثر من كونه كميا.

١-٥ مكانة افتراضية الانفجار الأعظم الساخن:

أنا مستعد للرهان ١٠ مقابل ١ لصالح نظرية الانفجار الأعظم الساخن العامة، بوصفه مفهوما يصف كيف تطور كوننا منذ أن كان عمره نحو ثانية واحدة وكانت درجة حرارته 10^{10} درجة كلفن (أو ١ ميجا إلكترون فولت). وهناك من الناس من هو أكثر منى ثقة في هذا.. ففي محاضرة مشهودة في (الاتحاد الفلكي الدولي) تعود إلى عام ١٩٨٢، جزم زلدوفيتش^(١٨) بأن الانفجار الأعظم كان حقيقة.. مثله مثل حقيقة دوران الأرض حول الشمس. ولا بد أنه حتى كان على دراية بمقولة مواطنه لاندائو: "إن علماء الكونيات مخطئون في الغالب ولكنهم غير متشككين ألبتة".

(*) في هذه المعادلة: بو هو ثابت بولتزمان $= 1.38 \times 10^{-23}$ جول/درجة كلفن، د: درجة الحرارة المطلقة. (المترجم)

(**) الباليونتولوجيا: هي علم دراسة أشكال الحياة في الفترات الجيولوجية السابقة لفترات ما قبل التاريخ. (المترجم)

لقد تدعمت افتراضية الانفجار الساخن الأعظم النمطى حقيقة خلال العقد الأخير، من خلال القياسات الأدق للإشعاع الخلفى وللعناصر الخفيفة. علاوة على ذلك فبوسعنا أن نتمعن فى الاكتشافات العديدة التى كانت كفيلة بأن تفند هذا النموذج ولكنها لم تتحقق، فعلى سبيل المثال:

أ- كان على علماء الفلك أن يكتشفوا جرماً تصل وفرة الهليوم به إلى الصفر، أو إلى أية نسبة تقل عن ٢٣٪ (ويمكن أن يعزز نشوء النجوم النووى نسبة الهليوم إلى ما فوق معدل وفرته فى عصر ما قبل نشوء المجرات، ولكن يبدو أنه ما من وسيلة مقنعة من خلال فيزيائيات النجوم يمكن أن تستأصله تماماً).

ب- ربما ظهر أن طيف الإشعاع الخلفى - بتحسّن الدقة التى تجرى بها التجارب- مختلف عن طيف الجسم الأسود (مما يسبب الحيرة للعلماء) وبصفة خاصة ربما كانت خلفية الموجة المليمترية التى قاسها القمر الصناعى COBE^(*) أقل مما نجده باستقراء طيف الجسم الأسود الذى تم تحديده بطريقة لا يتطرق إليها الشك والذى أظهر أطوالاً موجية تصل إلى سنتيمترات.

وليس من الصعوبة التفكير فى التأثيرات التى كان من شأنها أن تزيد إشعاعاً إضافياً عند الأطوال الموجية المليمترية (وفى الواقع فإن ضالة الإضافات المليمترية تحد بشدة من المعلومات التى يزودنا بها تكون النجوم المبكر، والجسيمات المضمحلة وما إلى ذلك) ولكن الصعب هو: كيفية تفسير كون درجة حرارة موجة مليمترية أقل من جسم أسود يتوافق مع جزء رالى -جينز من الطيف^(**).

(*) القمر الصناعى COBE (اختصار د. Cosmic Background Explorer) أطلق عام ١٩٨٩ للقياس الدقيق لإشعاع خلفية الموجات فائقة الصغر. وقد قدم أول دليل على التنبؤ فى هذا الإشعاع وعلى المناطق من الكون المبكر التى بدأ فيها تكون المجرات. (المترجم)

(**) هو الجزء من الطيف ذو الطاقة المنخفضة. (المترجم)

ج- لو أن نيوترينو مستقرًا اكتشف، له كتلة تقع في النطاق بين ١٠٠، مليون إلكترون فولت، لما كان هذا متوافقًا مع قياسات نموذج الانفجار العظيم التي كانت ستتنبأ بكثافة قدرها 10×10^8 من هذه النيوترينوهات في المتر المكعب، والنيوترينوهات المتبقية كان من شأنها أن تجعل كثافة الكون الحالي أعلى كثيرًا من تلك التي تتوافق مع الأرصاد الفعلية.

تمنحنا كل هذه الاعتبارات الثقة في صحة مد صلاحية استنباطاتنا إلى الوراء... إلى الثواني الأولى من تاريخ كوننا، وفي افتراض أن قوانين المايكروفيزيائيات عندئذ كانت هي كما هي الآن.

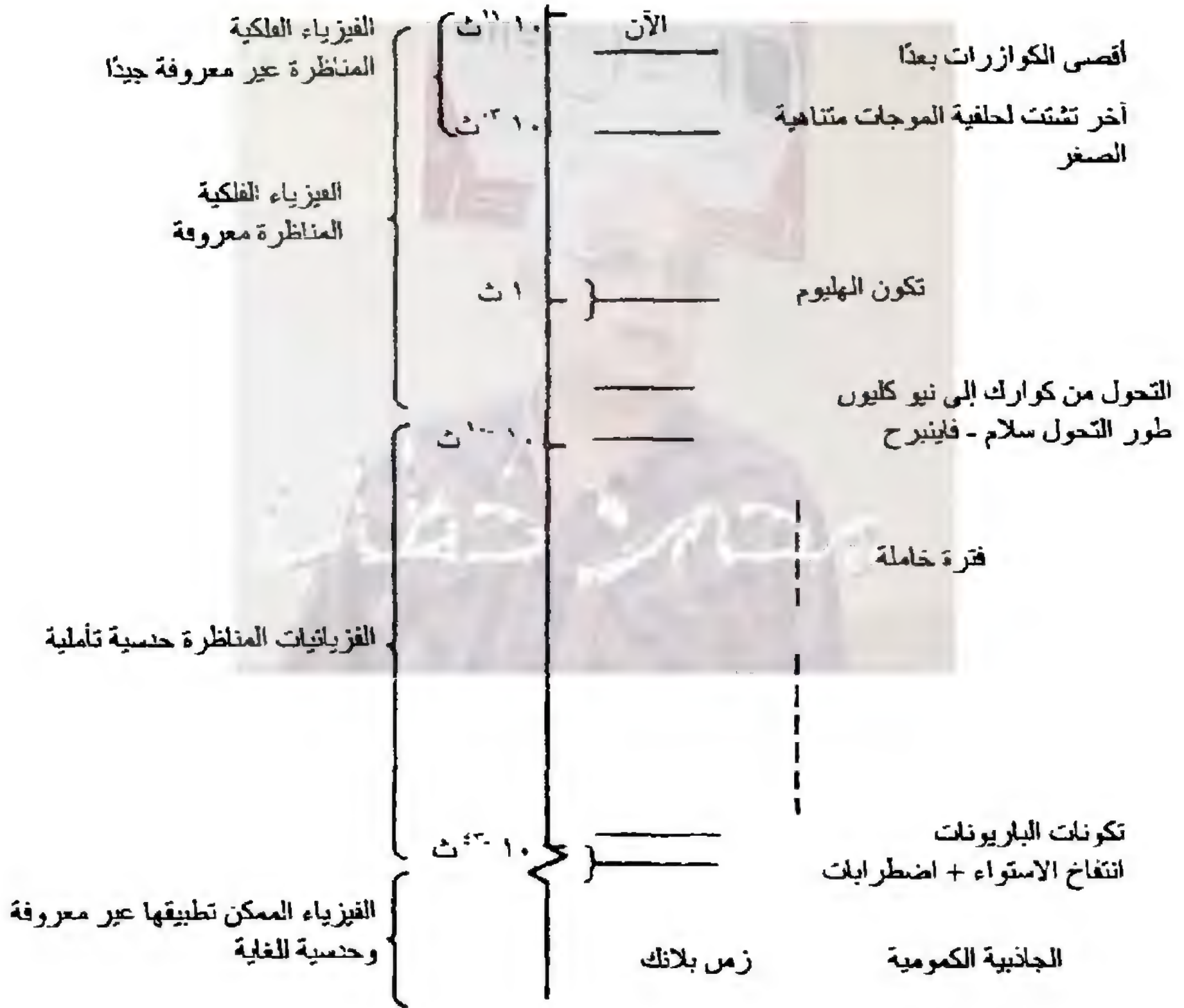
إلا أن هذه الثقة - وللأسف - في غير موضعها الصحيح، وسيثبت أن اقتناعنا هذا، اقتناع مرحلي وعابر، تمامًا كإقتناع فلكي من أتباع بطليموس^(*) قد أدخل فلك تدوير جديد^(**). على أن الانفجار العظيم الساخن يبدو أنه بالتأكيد يحظى بقبول حسن وعلى نطاق واسع من أي بديل مكافئ آخر.

إذا وقفنا الزمن - بمقياس لوغاريتمي على رسم بياني، فإن كثيرًا من الأحداث المهمة في التاريخ الكوني ستغفل وتسقط إذا أخذنا بعين الاعتبار فحسب الفترة بعد أن تجاوز الزمن الثانية الأولى (عند ن < ثانية).

(*) بطليموس هنا: فلكي إغريقي عاش في القرن الثاني بالإسكندرية، واشتهر بنظريته عن المنظومة الشمسية حيث حشد ملخصًا لمعارف فلكيي اليونان وأفكارهم في كتابه المعروف بالمجسطي وهو أقدم كتاب معروف في الرياضيات والفلك حتى العصور الوسطى. وفي النظام الذي وضعه بطليموس تحتل الأرض مكان المركز في حين تسلك الكواكب مسارات بالغة التعقيد حولها. (المترجم)

(**) فلك التدوير epicycle: هو دائرة صغيرة - في علم فلك بطليموس - يتحرك مركزها على محيط دائرة أكبر مركزها الأرض ويحدد مسار الكوكب حول الأرض، وقد استحدثها بطليموس لتفسير حركة الكواكب الظاهرية. والمؤلف يشير إلى التعقيد الذي كان يضيفه الإفراط في استعمال هذه الدوائر. (المترجم)

ويصور شكل (٥) كيف تطور الكون منذ زمن بلانك^(*) إلى الوقت الراهن. وعدم تيقننا من الفيزيائيات المناظرة آنذاك يعيق تَقَنُّنا في مناقشة المدى الشاسع للزمن اللوغاريتمي ما بين 10^{-42} ثانية، 10^{-10} ثانية، حين تجاوزت الطاقات الحرارية 100 ميجا إلكترون فولت.



شكل (٥)

تاريخ كوننا طبقا لنموذج الانفجار العظيم الساخن القياسي.

(*) زمن بلانك (ومقداره 391×10^{-44} ثانية) هو الزمن الذي يلزم للضوء، كي يقطع مسافة وحدة طول بلانك، البالغ 1616×10^{-35} مترا. وتلعب وحدات بلانك دورا أساسيا في نظرية النسبية وميكانيكا الكم وفي الفيزياء النظرية لتبسيطها الكثير من التعبيرات الجبرية في قوانين الفيزياء. (المترجم)

في الأزمنة التالية بوسعنا المثابرة على استعمال الفيزيائيات متناهية الصغر المعروفة لنا جيدا. وطالما بقى الكون متجانسا، فمن الممكن تتبع تطوره مباشرة انطلاقا من ذلك. وعلى أية حال، فربما تطورت بعض الاضطرابات ^(*). الابتدائية الطفيفة في مرحلة ما إلى نظم محكومة بالجاذبية ^(**) (أهي مجرات أولية! أهى تجمعات نجمية أولية؟). إن الانحراف عن العلاقة الخطية يخلق عندئذ تعقيدات تجابهنا بالتحدى حتى رغم أن ما يحكمنا فيزيائيا هو الجاذبية النيوتونية، وديناميكيات الغاز.

ورغم أهمية أقصى مراحل الكون تبكيرا وطرافتها، لعله من الرعونة أن نغامر بالرهان على ما حدث عند الزمن $n >> 1$ ثانية (أقل كثيرا من الثانية الواحدة). والقواعد التجريبية لهذه الأطوار الباكرة من التاريخ الكوني أكثر تهافتا وهشاشة بكثير من البرهان الكمي المعتمد على الأحافير (ابتداء من العناصر الخفيفة وإشعاع الخلفية) للحقب الزمنية التى تلت الثانية الأولى. إن أول جزء من الألف من الثانية من تاريخ الكون، تلك الحقبة الوجيزة ولكن المنخمة بالأحداث والتي تغطى ٤٠ عقدا أو وحدة على المقياس اللوغاريتمى (ابتداء من زمن بلانك)، لهى الملاذ العقلانى لمناصرى نظرية الطاقة العالية، وعلماء الكونيات من أتباع نظرية الانتفاخ أو الكموميات. لقد كانت الكثافات والطاقات من الارتفاع بحيث إن نواميس الفيزياء الملائمة لها هى مجرد حدس وتأمل.

واعتبارا من وصول الزمن إلى 10^{-2} ثانية وصاعدا، تصبح التنبؤات الكمية فى حيز الإمكان، مثل تلك التنبؤات عن تولد العناصر الخفيفة فى الكون. وتدعم هذه التنبؤات استقراءنا للزمن الماضى للأحداث. (وهذه التنبؤات بالمثل

(*) الاضطرابات الابتدائية Initial perturbations: يقصد بها لختلال فى مدار كوكب أو نجم نتيجة وجود جرم آخر. (المترجم)

(**) للنظم المحكومة بالجاذبية: مجموعة أجرام مرتبطة ببعضها عن طريق قوى التجاذب. (المترجم)

وبالمناسبة تبرز ذلك الافتراض أن قوانين المايكرو فيزياء كانت حقا هي هي عندما كان الكون آخذا في التمدد لمدة ثانية واحدة فقط مثلما هي في مختبراتنا على سطح أرضنا). ويتعين علينا أن نبقي أبواب عقولنا مفتوحة -أو على الأقل منفرجة- لتقبل احتمال ألا يكون الأمر كذلك.

لقد تحقق تقدم مشهود في آخر ٢٥ عاما في رسم الخطوط العريضة لقصة تطور الكون ورسم خريطة لبنية التجمعات والتجمهرات النجمية وتحركاتها، وفي مسح الأجرام ذات الانحياز الكبير نحو الأحمر. ولقد جلب هذا التقدم إلى بؤرة الاهتمام أسئلة جديدة ومهمة ذات صلة وثيقة بهذا الموضوع

أ- كيف برزت للوجود تلك البنى التي تسود كوننا اليوم من مجرات وتجمعات نجمية، من بداية هلامية غير متبلورة في الزمن المبكر.

ب- ما هو كنه هذه المادة المعتمدة التي يبدو أنها المكون السائد في الكون؟

ج- هل المتغيرات الجوهرية التي حددت طبيعة كوننا كما نعهده اليوم -أي البنى ونسبة الباريونات والمادة المعتمدة، هل هي ميراث من فيزيائيات جلية غير مألوفة لنا، وقدت لنا من مراحل أكثر تبكيرا من عمر كوننا؟

إن هذه المحاضرات معنية في المقام الأول بالسؤالين الأولين المرتبطين ببعضهما. بيد أن الفصل الأخير سيلمس - بإيجاز وعلى مستوى حدسي - أموراً أكثر اتصالا مباشرا بتلك الفيزيائيات المبهمة التي حكمت تلك المراحل المبكرة من التاريخ الكوني.



الباب الثانى

المجرات والمادة المعتمة

٢ - ١ ما المجرات:

على الرغم من التجانس الذى يبدو فى الصورة العريضة للكون على وجه العموم، فإن مكوناته التى يحتوى عليها - أى مجراته المنفردة ذاتها والتجمعات والعناقيد التى تتجمهر فيها- هى ما يمثل مادة علم الفلك الرئيسية التى ينبغى إيلاؤها العناية. وهذا هو الهدف الأساسى لدراستنا، والموضوع الرئيسى فى هذه المحاضرات، حتى نتفهم كيف تطور الكون عبر عشرة بلايين سنة تقريبا، من مجرد كرة نارية كثيفة حتى وصل إلى صورته الراهنة، تلك التى تهيمن فيها المجرات- على المقياس الكبير- على المشهد الكونى برمته. على أنه من الأوفق أن نبدأ بالتركيز على المجرات ذاتها. فمعظم التساؤلات التى تدور حولها لم يعثر لها بعد على إجابة شافية، وعلى وجه الخصوص:

أ- نحن لا ندرى لماذا تحتم وجود مثل هذه الأشياء (أى المجرات) أصلا- ولماذا كانت هذه التكوينات المتسقة من النجوم والغاز- بخواصها التى تكاد تكون قياسية، هى أكثر الملامح جلاء فى الكون على المقياس الكبير.

ب- إن نحو ٩٠٪ من الكتلة المادية الخاصة بالمجرات متوارية عنا. فالنجوم النيرة والغازات لا تسهم إلا بحوالى ١٠٪ من المادة التى تتحرك بفعل الجاذبية والتى نستتبط مقدارها من دراستنا للديناميكيات. أما ما تتكون منه البقية فما زال لغزا يكتنفه الغموض.

ج- ليس من الواضح لماذا تتوهج نوى بعض المجرات، مطلقة كميات جبارة من الإشعاع الذى لا ينتمى للنجوم وإنما ينبعث من أشباه النجوم والمجرات الراديوية.

تتملكنا الحيرة حيال هذه الموضوعات، شأننا شأن أسلافنا منذ ٧٥ عاما فى حيرتهم إزاء طبيعة النجوم. غير أن بعضا منا يأمل فى أن العمليات الفيزيائية التى تمثل العامل الأساسى فى تشكل المجرات لن تلبث أن تقع فى بؤرة اهتمامات علماء الفلك، كى يولوها ما تستحقه من عناية. وما من شك فى أن المناقشة التالية - لقصرها وعموميتها - قد تشوه الصورة، وإن كنت آمل أن تنقل جوهر الأفكار التى تطرحها.

فى كتابهما الكلاسيكى عن (ديناميكيات المجرات) يؤكد "بينى"، "وتريمين" ويجزمان^(١٩) بأن المجرات من علم الفلك، بمثابة النظام البيئى من علم الأحياء. فهى ليست مجرد وحدات متقلة فحسب، بل هى وحدات كيميائية بالمثل. فالذرات التى تتركب منها أبداننا تجيء من كل أرجاء مجرتنا "درب اللبنة"، بل إن بعضا منها يفد من المجرات الأخرى. وهذا التماثل البيئى يعكس ملامح أخرى للمجرات: نعتقد تركيبها وتطورها الدائم وعزلتها النسبية.

بوسعنا ترسم خطوات النجوم المفردة - وهى بمثابة الكائن المفرد فى نظام المجرات البيئى - منذ ميلادها فى رحم السحب الغازية وعبر دورات حياتها. ولقد اقتربنا من تفهم السبب فى أن للنجوم هذه الخصائص العامة التى نشاهد. أما السؤال عن وجود المجرات فليس يمثل هذه السهولة، ولا يتكافأ مع سؤالنا عن النجوم. فقد تكونت المجرات فى مراحل أكثر تبكيرا وأغور عمقا فى حقب الكون، ولسنا نعرف قدر ما يمكن شرحه ويتيسر التوصل إليه من عمليات تكوينها الاعتيادية ودراسته، ولا أسباب حدوثها فى الحقب الكونية المبكرة.

هناك تصنيف للمجرات، يقتضى استيعابه جهدا مضنيا، على أن الفئتين الدارجتين منها هما المجرات القرصية والمجرات الكروية (الإهليلجية). وربما يرجع هذا التصنيف القائم على الشكل البنائى إلى رسم هزلى ذائع الصيت يعود إلى ٣٠ عاما خلت. هب أن مجرة ما قد بدأت دورة حياتها كسحابة غير منتظمة الشكل من الغاز، أخذت فى التقلص بتأثير الجاذبية وأن تقوضها اتسم بدرجة عالية من التبدد، بمعنى أن كل كرتين من الغاز تصالمتا، قد شعتا طاقتهما الحركية النسبية ثم التحمتا (شكل رقم ٦) فسيأخذ الشكل النهائى للانهييار هيئة قرص دوار، فتلك هى الحالة الدنيا من الطاقة التى يمكن للغاز أن يصل لها ما لم يفقد أو يُعد توزيع عزمه الزاوى. Angular momentum . والنجوم- وفى الحقيقة أى شىء مدموج- لا يرجح أن تصطدم ببعضها، وبالتالي فهى لا تملك أن تشتت طاقتها بنفس أسلوب السحب الغازية. لذا، فإن معدل تحول الغاز إلى نجوم قد يكون ذا دلالة جوهريّة فى تحديد نوع المجرة الناتجة، فالمجرات الإهليلجية هى تلك التى كان معدل التحول فى حالتها سريعا، بحيث تكون النجوم قد تم تكونها سلفا قبل أن يتيح الوقت للغاز أن يستقر فى الحالة الدنيا من الطاقة، على حين تنشأ المجرات القرصية عندما يتأخر تكون النجوم إلى ما بعد استقرار الغاز فى هيئة قرص.



شكل رقم (٦)

رسم تخطيطي مبسط يوضح انهيار سحابة غازية غير متجانسة، تدور ببطء حول نفسها. تتبدد طاقة حركة الغاز الداخلية في أثناء ذلك الانهيار، ويستقر الغاز - في خاتمة المطاف - في هيئة قرص. ومن شأن النجوم التي تتكون بهذا الأسلوب من الانهيار أن تتكبح حركتها في الاتجاه العمودي على سطح القرص، مكونة المركبة الكروية.

ووفقا لهذا التصور التقليدي، فالمجرات القرصية هي تلك ذات التحول الأبطأ، التي تستغرق وقتا أطول في الدنو من حالة الاستقرار والتي يحتبس فيها الغاز في نجوم ذات كتلة صغيرة أو بقايا أجرام ميتة.

٢ - ٢ أبعاد المجرات، بوصفها حالة خاصة:

يفتقد الشرح السابق ركنا وحيدا مهما. فلا يوجد فى شكل (٦) مقياس واضح، فى حين أن للمجرات حيزا مميزا حتى وإن تفاوتت -كالنجوم- نطاقات شدة سطوعها. هل هناك فى الفيزياء ما يقيس أبعاد سحب ذات أبعاد مجرية، تماما كما فهمنا- منذ إدينجتون وشاندرا سيخار^(*) المقياس الطبيعى للنجوم؟ ينبغي أن يحدد علم الكونيات - ولو إلى حد ما - معيارا لأبعاد المجرات، فلم تكن المجرات لتوجد ما لم تسمح الظروف الابتدائية وديناميكيات الكون المتمد- من الناحية الجذبوية- لسحب الغاز المحبوسة بالتكاثف. على كل حال، فمن الواضح أن هناك أمرا ما يحدد أين يقع على سلم مقياس الكتل الحد الفاصل الذى تنتهى عنده المجرات المفردة وتبدأ عنقايد المجرات. لماذا - على سبيل المثال- ليس عنقود المجرات (كوما)^(**) تجمعا هلاميا ضخما يحوى ١٠^٤ نجما!

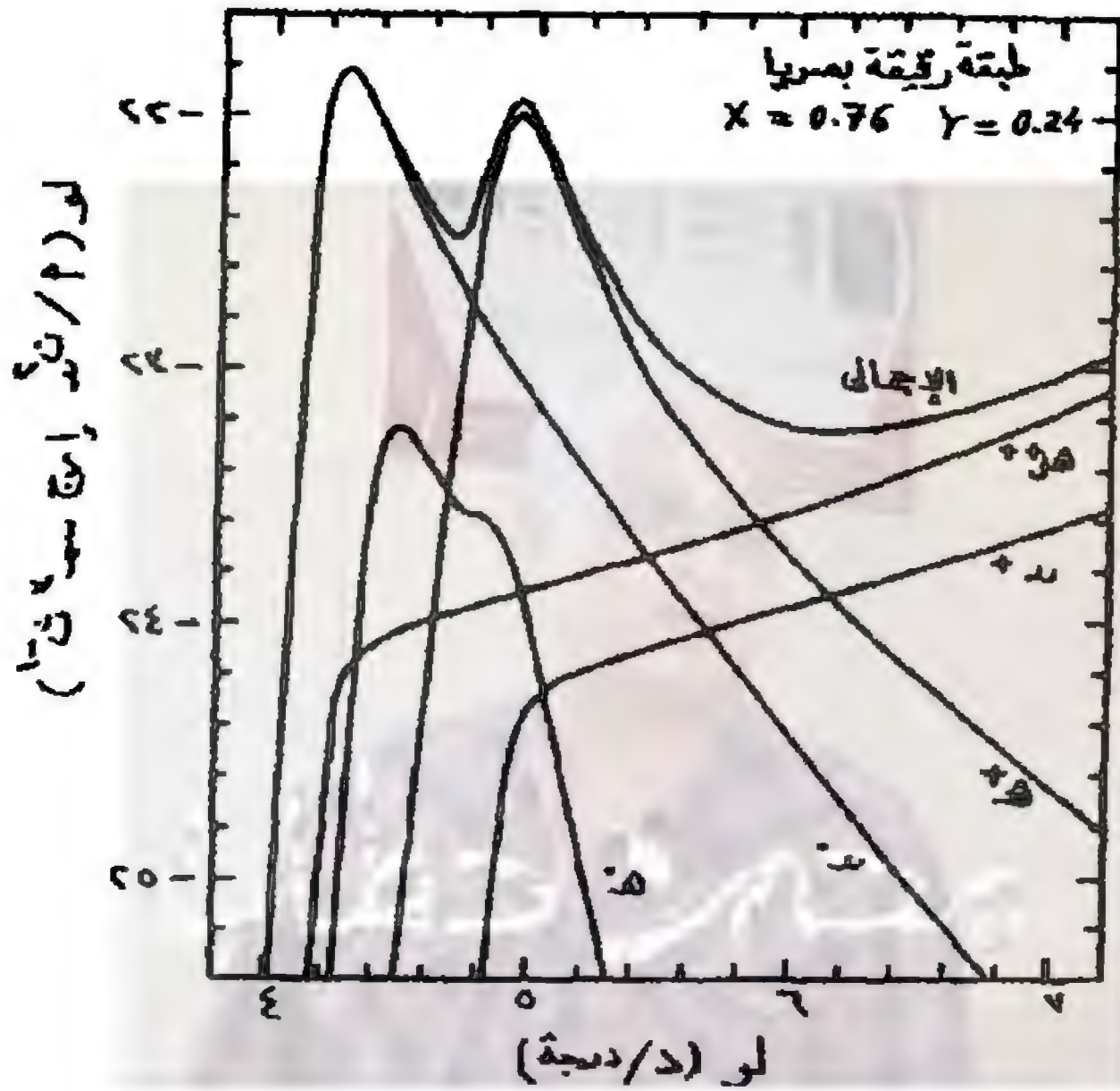
هناك قضية فيزيائية بسيطة تطرح -على الأقل- جزءا من الإجابة^(٢٠). افترض حزمة من السحب الغازية مرتبطة معا برباط الجاذبية، غير أنها ذوات كتل وأنصاف أقطار متباينة. هنا معياران للزمن لهما أهميتها فى تحديد تطور السحابة الغازية تحت تأثير قوى جذبها الذاتية: أولهما هو ديناميكا زمن السقوط الحر،^(٢١) وهو من رتبة $\sqrt{R^3/G}$ ^(***)، وتعتمد قيمته الدقيقة على الشكل الهندسى للتقوض. والثانى هو المقياس الزمنى للابتعاد كنتيجة لتسرب الحرارة بالإشعاع^(٢٢)، وهو يعتمد على درجة حرارة الغاز^(٢٣)، ويمكن صياغته فى الصورة $\frac{R^2}{\kappa \rho}$ حيث κ ثل (د) $\frac{1}{\text{بو.د.غ}}$

(*) وضع إدينجتون حدا أعلى للنسبة ما بين سطوع نجم ما وكتلته حتى يكون مستقرا. ويساوى هذا الحد (عند تطبيق لمعان الشمس، وكتلتها حوالى ٤٠٠٠٠. ويتجاوز هذا الحد تتفجر الطبقة الخارجية من النجم تحت الضغط الإشعاعى، أما شاندرا سيخار فقد وضع حدونا لتطور النجم طبقا لكتلته لينتهى به الأمر إلى ثقب أسود إذا كانت كتلته أكبر من ٤ و١ مرة كتلة الشمس، أو إلى قزم أبيض إذا قلت عن ذلك. (المترجم)

(**) ذات الشعور أو النؤابة Coma Berenices: عنقود مجرى ضخم يحتوى على آلاف المجرات ويوجد فى كوكبه (نؤابة برنيكس) على بعد حوالى ٢٢٥ سنة ضوئية. (المترجم)

(***) ترمز (ء) هنا إلى عجلة الجاذبية. (المترجم)

ث الكثافة، ل (د) هي دالة في درجة الحرارة يمكن حسابها من الفيزياء الذرية (شكل ٧).



شكل (٧)

دالة التبريد لطبقة بلازما رقيقة (بصرياً) ذات تركيب ابتدائي في حالة اتزان تأينى ويشمل هذا تأثير الإشعاع الحرارى للتباطؤ^(*) thermal bremsstrahlung على الهيدروجين (يد +) والهيليوم (هـ ++)، وعودة اندماج إشعاعى وعودة اندماج إلكترونى ثنائى واستثارة عند مستويات بعينها.

(مقتبس من فال. إس. إم، ريس إم. جى (١٩٨٥) - مجلة الفيزياء الفلكية عدد ٢٩٨، ص ١٨ شكل رقم ١).

(*) عندما تصطدم إلكترونات تتحرك بسرعة فائقة، بحائل كثيف فإن سرعتها تتناقص بشدة وتطلق إشعاعاً. وطيف الأشعة السينية العريض المستمر الناتج يعرف باسم الإشعاع الحرارى للتباطؤ bremsstrahlung فهو نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسى نتيجة تسارع شحنة كالإلكترون يحدث لها انحراف نتيجة وجود جسيم مشحون آخر. (المترجم)

إذا تجاوز β (زمن الابتعاد)، β (زمن ديناميكا السقوط الحر) فيمكن أن تصل سحابة كتلتها K ونصف قطرها R إلى شبه اتزان إستاتيكي. أما إذا كانت $\beta > \beta_c$ ، فمثل هذا الاتزان في حكم المستحيل (شكل ٨). تبرد السحابة إلى ما تحت الدرجة المقومة virial (*) ويحدث لها تقوض طبقاً لنموذجي السقوط الحر أو التشظي، ويمكن أن تتقوض السحب وتشظي على النحو المصور في شكل (٦) فقط إذا دخلت في الجزء من مستوى علاقة الكتلة بنصف القطر $M-R$ الذي كان فيه معدل التبريد أسرع من السقوط الحر.

وتبين الحسابات المبسطة أن هذه الظاهرة تتضمن علاقة تربط نصف القطر باعتباره دالة في الكتلة في حدود ٧٥ كيلو بارسك، وكتلة حرجية K_c في حدود 10^{12} ك ش^(*). والسحب ذات الكتلة الأقل من الكتلة الحرجية K_c ستتبعثر، أما فوق K_c فالتشظي مستحيل ما لم تتقلص السحابة بحيث ينقص نصف قطرها عن R_c (شكل ٩).

والكتلة ونصف القطر المميزان هذان تحددتهما نوااميس الفيزياء النظرية التي يلخصها شكل (٧)، مع ربطه بمتطلبات الاتزان الجذبوي، ويصلحان في كثير من المخططات التي تفسر نشأة الكون - على الأقل - في وضع الحد الأقصى لمقياس المجرات.

(*) تعنى نظرية التقويم virial theorem طريقة لحساب كتلة العنقود المجري بناء على سرعة تحرك مكوناته، وهي تعطى في الفيزياء الفلكية تفسيراً للظاهرة العجيبة من أن النجم - إذ يشع طاقة ويتقلص - ترتفع درجة حرارته. فهي تربط بين متوسط طاقة الحركة ومتوسط طاقة الوضع (طاقة الوضع الجانبي تساوي ضعف طاقة حركة أجرام المنظومة) ومن خلال ذلك يمكن حساب كتل التجمعات المجرية من حجمها ومتوسط سرعات الأجرام المرئية بها. والأرقام المتحصل عليها من هذه الحسابات تعطى عشرة أمثال للكتل المنظورة، وقد أفضى هذا إلى فرضية المادة القائمة أو المخفية في عناقيد المجرات. (المترجم)

(**) ك ش تعنى هنا كتلة الشمس التي تبلغ 1.989×10^{30} كيلوجراما. (المترجم)

وقد ذكر إدينجتون أن فيزيائيا على سطح كوكب محكوم بسحابة يمكنه أن يتنبأ بخصائص (المفاعلات الاندماجية التي تحكمها الجاذبية)، تلك التي نسميها بالنجوم. وهذه الاعتبارات البسيطة ذات علاقة بالمجرات حتى على الرغم من أنها غير كافية للتكهن بطبيعتها. إن الشرح الوافي لطبيعة المجرات لا بد وأن يتضمن وضعها في السياق الكوني. وهناك أيضا تلك الحقيقة المحيرة، وهي أن معظم كتلتها - ربما ٩٠٪ منها - لا تؤخذ في الاعتبار. إن هذا الجزء الذي لا يؤخذ في الاعتبار ليس في النجوم ولا في الغازات التي نراها، وإنما يتخذ هيئة (معتمة) غير معهودة.

نموذج الانكماش

نهرن التبريد > نهرن السقوط الحر أو نهرن التبريد < نهرن السقوط الحر



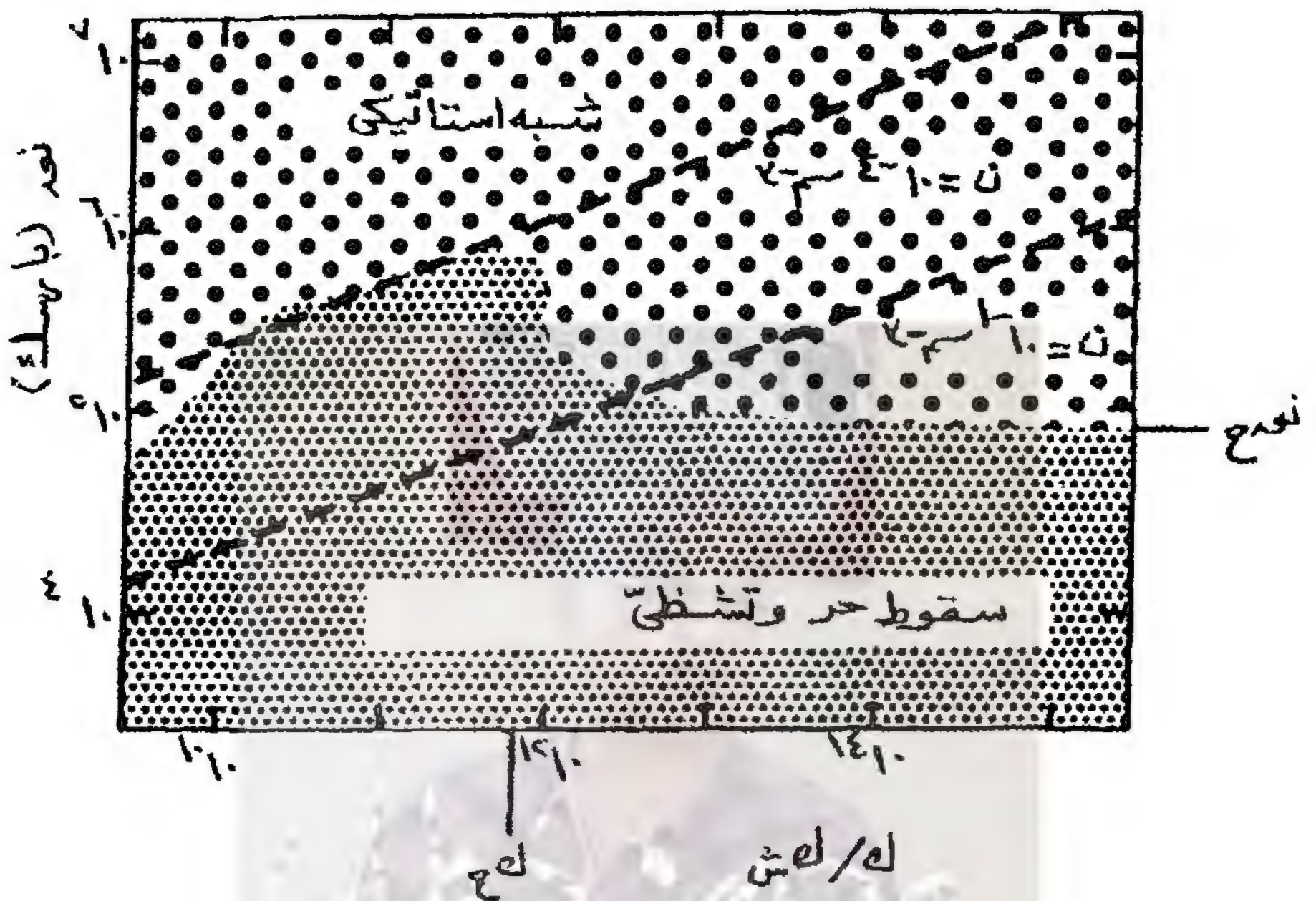
انكماش شبه استاتيكي
 $d \approx d_0$



تبريد - تقوض بالسقوط
الحر وتشطط

شكل (٨)

نموذج التقوض لسحابة غاز ذاتية الجاذبية اعتمادًا على المعدلات النسبية للتبريد والسقوط الحر.



شكل (٩)

يصور هذا الشكل الخطوط العريضة للعلاقة بين الكتلة ونصف القطر لسحابة غازية تحت تأثير جاذبيتها الذاتية، يستوى لها مقياس التبريد الزمني ومقياس والزمن الديناميكي (وذلك بافتراض أن التبريد ناجم عن العمليات المبينة بشكل (٧) فحسب). إن لسحابة ذات كتلة ما، وكان نصف قطرها في الأصل بالغ الكبر سوف تنقلص بكيفية شبه إستاتيكية (لأن زمن الابتعاد $\propto R^2$ أكبر من الزمن الديناميكي) إلى أن تتقاطع مع الخط الحرج. عندئذ فسوف تنهار طبقاً لنموذج السقوط الحر وتنشيط إلى نجوم. وهذا التفسير المبسط (الذي يمكن تعديله كي يستوعب هندسة الأشكال غير الكروية، أو المكون غير الباريوني من الكتلة، وخلاف ذلك) يطرح لماذا لا تتكون مجرات ذات كتلة باريونية تتجاوز كثيراً مليون مليون مرة كتلة الشمس، وأنصاف أقطار تزيد كثيراً عن مائة ألف بارسك، وذلك بصرف النظر عن التفاصيل الكونية الأخرى. ففوق 10^{10} ك^٢ ينبغي أن تتضغط المنظومة حتى تصل كثافتها إلى 10^{-24} ذرة لكل سم^٣ قبل أن تتخرط في انهيار

يتوافق مع نموذج السقوط الحر، أما دون هذه الكتلة، فلا تتجاوز الكثافة اللازمة 10^{-4} ذرة في كل سنتيمتر مكعب. إذا ما رغبتنا في استقصاء تفاصيل أعمق فيلزمنا معارف أشمل عن الاضطرابات الابتدائية وكذلك عن مدى كفاءة عملية تكون نجم ما في مجرة أولية مبكرة. ملحوظة: ن في الشكل ترمز إلى عدد الذرات.

٢ - ٣ المادة المعتمدة

٢ - ٣ - ١ الهالات المجرية:

تأتينا طائفة من البراهين على وجود المادة المعتمدة من أقراص المجرات، كما في مجرة درب التبانة أو مجرة أندروميدا. فهذه المجرات تتكون - في المقام الأول - من نجوم، بيد أنها تحتوى أيضا على سحب بين النجوم من الهيدروجين المحايد (HI) (*). وهذه السحب، وهي في حد ذاتها جزء ضئيل من الكتلة الكلية، تفيدنا في ترسم الحركة المدارية. (٢١) ويمكن لعلماء الفلك الراديوى أن يرصدوا الهيدروجين المحايد HI عن طريق خط انبعاث من الكيانات فائقة الصغر ٢١ سم (١٤٢٠ ميجا هيرتز) (**). عند أنصاف أقطار تتخطى كثيرا حدود القرص الذى يمكن رصده ضوئيا. وهذا الغاز الشارد عن محل إقامته واقع في مستوى القرص. ولو أن طبقة السحب الخارجية من الهيدروجين المحايد قد تأثرت بالشد الجذوى حتى يمكننا أن نراه، لهبطت سرعاتها بمعدل يتناسب تقريبا مع الجذر التربيعى للمسافة خارج الحدود الضوئية للمجرة، ولتحركت الطبقة الخارجية من الغاز بسرعة أبطأ، تماما مثلما يدور نبتون وبلوتو حول الشمس بسرعة أبطأ من سرعة

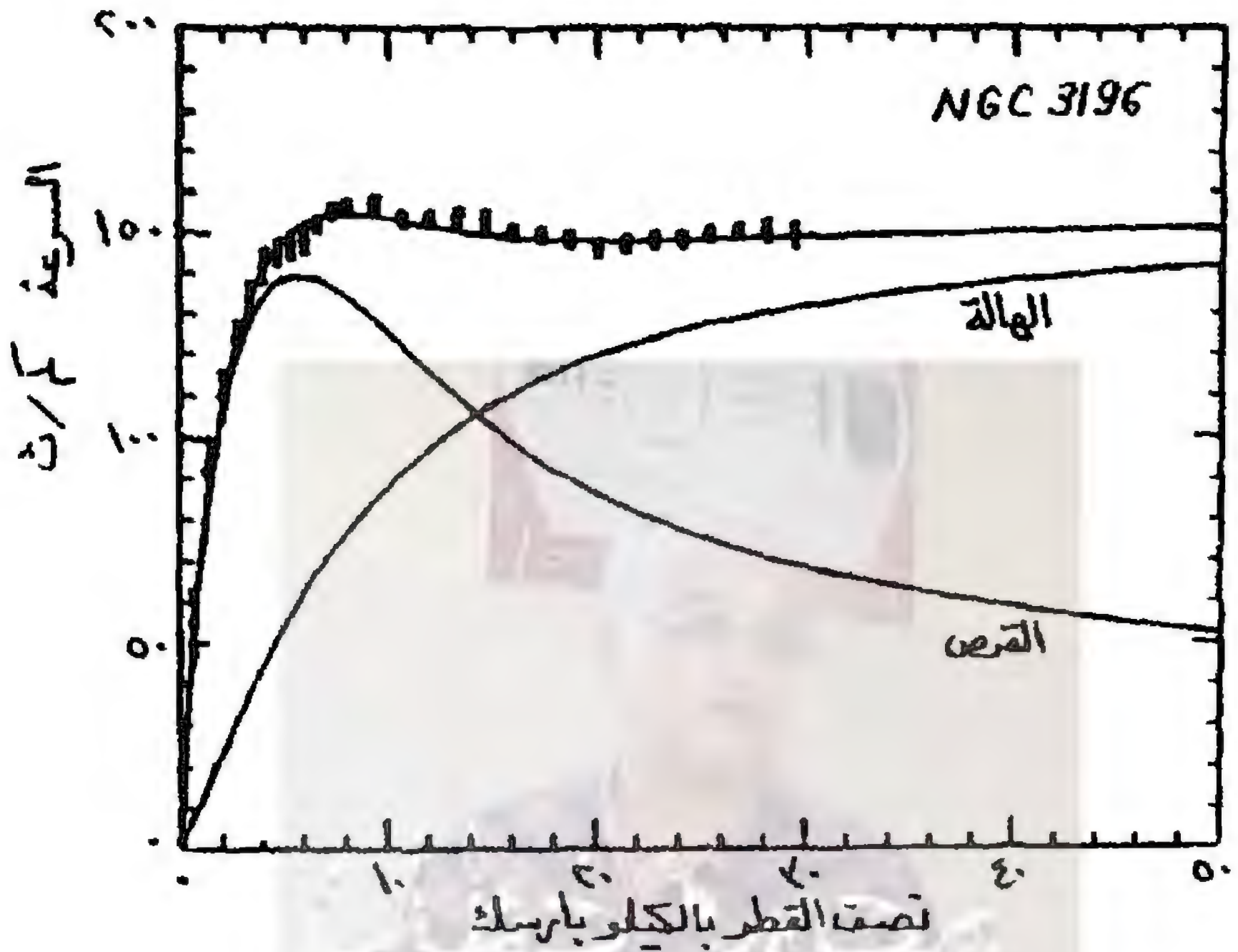
(*) الهيدروجين المحايد (HI) هو للهيدروجين الذى عانت لأيوناته الإلكترونات في مرحلة عودة الاندماج السابق الإشارة إليها بحيث صلرت نراته عديمة الشحنة أى محايدة. (المترجم)

(**) خط الانبعاث ٢١ سم: هو خط طيفى تشعه (أو تمتصه) ذرات الهيدروجين من مادة ما بين النجوم فى النطاق الراديوى ذى الطول الموجى ٢١ سم. (المترجم)

دوران الأرض. ومن ثم فإن منحنيات الدوران هذه تتطلب وجود هالة^(*) ممتدة ومرئية تحيط بالمجرة مثل الحال مع مجرتنا تماما. وبالمثل لو أن بلوتو كان يدور بنفس سرعة الأرض لاستنتجنا وجود قشرة معتمدة من المادة خارج مدار الأرض ولكن داخل مدار بلوتو.^(٢٢) (شكل ١٠) إن دليلا إضافيا على وجود "المادة المعتمدة" في نطاق مجرتنا يأتي من مدارات التجمعات الكروية الشاردة عن موضعها ومن مجرات التوابع القزمية. وبمقدور علماء الفلك أن يستشعروا - بالأشعة السينية - الانبعاثات من الغاز الساخن في باطن المجرات، ويحددوا نموذج تغير كثافته ودرجة حرارته. وبافتراض أن هذا الغاز مقيد ومحكوم بالجاذبية فبالمقدور استنتاج مدى عمق بئر مجال الجاذبية وامتداده^(**). ويدعم خط هذه المقولة ما نجده من أن كلا المجرات القرصية والإهليلجية لديها هالات قائمة ممتدة، تنخفض كثافتها - خارج باطن يصل نصف قطره إلى عدة آلاف بارسك، بمعدل يتناسب عكسيا مع مربع نصف القطر تقريبا. وهو القانون الذي تتبعه كرة ذات درجة حرارة ثابتة، وطبقا لهذا القانون فالكتلة المتضمنة داخل نصف قطر نق تتناسب مع نق مرفوعة للأس^(١) عند أنصاف الأقطار الكبيرة^(٢٣).

(*) الهالة halo: هي تجمع دائري في الفضاء حول المجرة يضم مجموعات متناثرة من النجوم المسنة والعناقيد الكروية والغاز المتخلخل. (المترجم)

(**) بئر الجاذبية: يقصد به، في علاقة القوى بين جزيئين مع المسافة، الموضع الذي تصل فيه طاقة الوضع إلى حدها الأدنى ومن هنا جاءت التسمية بالبئر فكأن الجرم في قاع بئر يحتاج لكمية من الطاقة لإخراجه منها. (المترجم)



شكل (١٠)

معدل الدوران بوصفه دالة في نصف قطر المجرة (NGC3196). الخط السفلي المرقوم بالقرص يشير إلى الدوران المتوقع لو كانت الكتلة متناسبة مع الضوء الذي يتناقص معدله بسرعة خارج البعد ١٠ كيلو بارسك. عند أنصاف الأقطار الأكبر يتعين أن تقوم هالة قاتمة بدور كتلة المادية المسيطرة بحيث يعطى التأثيران معا (مضروبين في ٤) منحني الدوران (المسطح تقريبا) وكما نقيسه.

(من بيجيمان ك.ج - ١٩٨٩ - مجلة للفلك والفيزياء الفلكية - العدد ٢٢٣ - ص ٤٧)

٢-٣-٢ مجموعات المجرات وتجمهراتها:

لمجرتنا كما لمجرة أندروميديا - هالات ممتدة، وإجمالي كتلة هذه المجموعة المحلية من المجرات (والتي تمثل هاتان المجرتان القرصيتان الضخمتان فيها

الجانب المسيطر) يمكننا استخلاصها مما يطلق عليه المسألة التوقيتية^(*) timing argument^(٢٤)، فيما يحسب المرء كم يلزم من الكتلة حتى يحدث الوضع الكينماتيكي الحركي الراهن والذي تبعد فيه مجرتنا عن مجرة أندروميديا بـ ٦٠٠ ألف بارسك، بينما تهوى كل منهما في اتجاه الأخرى.

وتشير هذه التقديرات إلى أن الهالتين حول هاتين المجرتين ربما كان لهما من الكتلة ما يجعلهما تمتدان للخارج إلى أن تلتحما في النهاية. والواقع أن المقياس الزمني الديناميكي في هالة ذات درجة حرارة ثابتة يتناسب مع نصف القطر نق. ويقتضى ذلك أنه حتى في مجرة معزولة فلا بد وأن ينقطع اتصال الهالة عند نصف القطر الذي يقترب عنده مقياس الزمن من عمر المجرة. إن المجرات الضخمة التي لا يجاورها جيران قريبون ربما يصل نصف قطر هالتها -كنمط سائد- إلى ١٠٠ كيلو بارسك أو أكثر. وفي تجمع من المجرات، لا تقوى هذه المجرات على الاحتفاظ بهالاتها الممتدة لنفسها، بل تتداخل الهالات وتتداوب. ويبدو حينئذ، أن هناك مقدارا مناظرا من المادة المعتمدة لكل مجرة يتوزع بانتظام خلال تجمع المجرات كله.

وتبين الدراسات لديناميكيات حركة تجمعات المجرات وجمهراتها أن هذه المنظومة حقيقة بالتأخر، متباعدة عن بعضها لو لم تحتو من المادة أكثر بكثير مما نشاهد^(٢٥). ويمكننا استعمال الحركات النسبية للمجرات المكونة لتجمع ما، والخصائص المستنتجة من فحص الغاز الساخن المنبعث من خلال تجمع المجرات بالأشعة السينية في تقدير كتلة المادة المعتمدة وكثافتها، وإن لم يكن لتجمع المجرات نفس الكثافة.

(إن تحركات المجرات ترسم في الأساس بئر طاقة للجانبية. ولكن هذه الاستدلالات يصعب تطبيقها عمليا، لأنها تعتمد على مدى تجانس مسارات

(*) يقصد بها وسيلة رياضية لتحديد كتل المجرات بربطها بأعمارها. (المترجم)

المجرات، أى ما إذا كان لها نفس الخواص فى كل الاتجاهات أم أن حركتها فى الاتجاه القطرى هى الغالبة. وتوزيع الغاز بالنسبة للمادة المعتمدة هو - فى المقام الأول - دالة فى النسبة ما بين درجة حرارة الغاز ودرجة الحرارة المقومة (ق). على أية حال، فثمة صعوبات تلوح فى الأفق لأن علماء فلك الأشعة السينية لم يصلوا بعد لدرجة التفريق الكافى للطيف مقترنة بدرجة تكوين زاوى كبيرة. علاوة على ذلك فربما يكون الغاز غير متجانس ومدفوعا - بصورة جزئية - بتحركات غالبة عليه أكثر من كونه مدفوعا بالضغط الحرارى).

وهناك طريقة جديدة وطريقة فى رسم مخطط لتوزيع الكتلة الكلية فى التجمع، تستغل الانحراف فى مسار الأشعة الضوئية بتأثير جاذبية التجمع النجمى. فهذا التأثير يشوه صور الأشياء الواقعة فى خلفية الصورة، فتظهر بها آثار خطوط واضحة أشبه بالأقواس، وهى عبارة عن صورة مكبرة للغاية لمجرات خافتة تقع بعيدا وراء التجمع النجمى (٢٦). والحققة أن بعض المجرات المعروفة على بعد شاسع تم اكتشافها فقط (٢٦) لأن صورها كبرت مع وجود التجمعات النجمية فى مقدمة الصور. وتكشف الدراسات الأكثر تفصيلا أن غالبية المجرات فى خلفيات الصور والتى نشاهدها وراء التجمعات النجمية المكتظة مشوهة على نحو ما وإن لم يكن تشوها بالغا كالأقواس سالفة الذكر (٢٧). وتتيح هذه البيانات - فى الأساس إعادة رسم علاقة الكثافة بالارتفاع المحسوبة للكتل المتحركة بتأثير الجاذبية عبر التجمع النجمى كله. ويمكن لهذه التقنية أن تمدنا بتقدير مباشر للكمية الكلية من المادة (المادة المعتمدة أساسا). بل لقد أظهرت بالفعل أن هذه المادة مركزة بقوة وبصورة تدعو إلى الدهشة فى المركز. فإذا ربطنا الاستدلالات التى تزودنا بها ظاهرة الانحراف بتأثير الجاذبية كفعل العدسة المحدبة (*)، بالبيانات التى يمدنا بها الرصد المتطور بالضوء وبالأشعة السينية، فإن بحوزة الفلكيين الآن صورة أكثر إحكاما وتفصيلا عن ديناميكيات التجمعات النجمية وتراكيبها الداخلية.

(*) انظر شكل (١١).

من المصطلح عليه أن يعبر عن كثافة الكون المتوسطة بدلالة معامل الكثافة (ى) أو أوميغا، وهو عدد دون أبعاد يعبر عن الكثافة الفعلية ككسر من الكثافة الكونية الحرجة^(*) (ρ_c / ρ) ، حيث ρ_c هو زمن هابل. ويصل مقدار المادة المعتمدة التي استدلت عليها في الهالات المجرية، والتجمهرات والتجمعات النجمية بالكثافة إلى زهاء ١٠ إلى ٢٠ فى المائة من الكثافة الحرجة (أى أن $\rho = 0.1$ إلى 0.2). ولعل أهم قضايا علم الفلك المختص بما فوق المجرات هى طبيعة هذه المادة المعتمدة وما إذا كانت مقادير منها ما زالت هناك بين التجمعات النجمية تكفل رفع قيمة المعيار (ى) أو أوميغا إلى الواحد الصحيح.

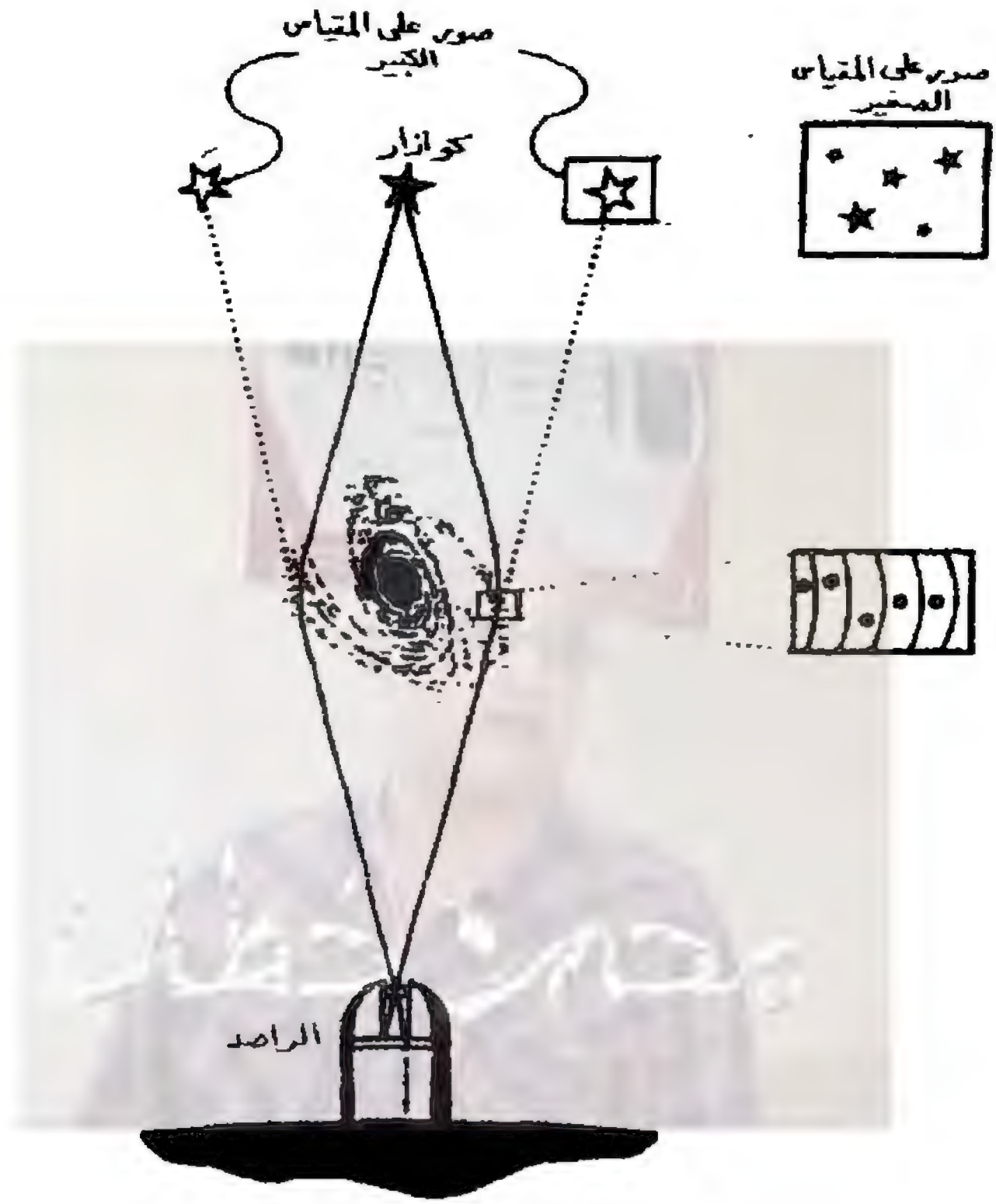
٢ - ٤ ما عسى أن تكون هذه المادة المعتمدة!

٢ - ٤ - ١ النجوم خفيفة الكتلة وبقايا الأجرام فائقة الكتلة:

إن أول التخمينات، وأكثرها تحفظا هو أن المادة المعتمدة فى مجرتنا موجودة فى النجوم ذات الكتلة متناهية الصغر بحيث لا تكفى لإضرام الوقود النووى بمراكزها. ويتعين أن تقل كتلة مثل هذه النجوم والمسماة بالأقزام البنية Brown dwarfs أو الجوبيترات Jupiters عن ٧٪ من كتلة الشمس، بحيث يقلتها خفوتها من الرصد بالطرق الفلكية التقليدية^(٢٨).

وحتى لو لم تبعث الأقزام البنية أى إشعاع (بصرف النظر عما يفترض من إصدارها لأشعة تحت حمراء شديدة الخفوت) فإنها تستطيع أن توارى نفسها أساسا عن طريق تأثير العدسة المحدبة الجذبوى على الضوء القادم من نجم يقع خلفها. وضوئيات العدسة المحدبة عن طريق جسم مدمج واحد بسيطة للغاية (شكل ١١).

(*) الكثافة الكونية الحرجة: هى قيمة الكثافة ρ_c التى تتساوى عندها طاقة حركة مجرة ما مع طاقة وضعها فإذا كانت ρ هى كتلة المجرة، ρ_c كتلة مجموعة المجرات، فإن $\rho / \rho_c = 2/3$ = ج ك ÷ نق، حيث ك = $4/3$ ط نق ٣. ρ_c وطبقا لقانون هابل $\rho_c = 3H^2 / 8\pi G$ ، فكون $\rho / \rho_c = 2/3$ = ج ك ÷ نق $\times 4/3$ ط نق ٣ ρ_c وبالتالى تكون الكثافة الكونية الحرجة = $3H^2 / 8\pi G$ أو $(8/3) \rho_c$ (٢) - ١ (المترجم)



شكل (١١)

عندما تعترض مجرة طريق الضوء الآتى لنا من شبه النجم فإن مسار هذا الضوء ينحرف بفعل جاذبية المجرة عن السير فى خط مستقيم مقترباً إلى الداخل (مثلما تتجمع الأشعة المتوازية عند مرورها خلال عدسة شفافة محدبة، لذا يسمى هذا الانحراف بتأثير العدسة المحدبة الجذبوى). وتفصل بين الصورتين الواصلتين من الناحيتين حول المجرة بضع ثوان قوسية. فإذا كانت كتلة المجرة (مع هالتها) 10^{11} ك، فإن كل صورة سوف تنحرف، ويصل الانحراف على المقياس الزاوى إلى 10^{-5} (ك، ÷ ك ش) $1/2$ ثانية قوسية. (منقولة عن ريفسدال، إس سانديج ١٩٩٤ - مجلة الفيزياء ٥٦ - ص ١١٧).

ويعتمد الشكل الهندسى على نسب المسافات بين العدسة ومصدر الضوء الخلفى. على كل حال وفى الحالة البسيطة، تقع العدسة فى منتصف المسافة على امتداد المستقيم الواصل من النجم على بعد f . ويقتضى التقريب $resolution$ الوقوع فى نطاق زاوية $\theta = \frac{1}{K}$ كتلة الهالة مع مجرتها، s سرعة الضوء، f بعد النجم $\theta = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{G}{s^2}}$ حيث G الثابت الجذبوى العام، K كتلة الهالة مع مجرتها، s سرعة الضوء، f بعد النجم. وتميز الزاوية θ (و) بالمثل الفاصل ما بين الصورتين اللتين تتكونان فى الحالة البسيطة من تأثير العدسة المحدبة $lensing$ الحادث بسبب كتلة مدمجة (K) ويمكن للأشياء فى هالة مجرتنا أن تكون صوراً من جراء تأثير العدسة المحدبة هذا، للنجوم فى السحب الماجلانية (عبارة عن مجرتين صغيرتين غير منتظمتين بمثابة تابعتين لمجرتنا، تبعدان عنا بنحو ٥٠ كيلو بارسك) وسيكون للزاوية θ (و) عندئذ القيمة 10^{-4} ($K=1$ ك ش) $1/2$ ثانية قوسية. وعندما تكون K أقل من K فإن هذه الزاوية تكون من الضالة بحيث يصعب الفصل بين الصورتين ضوئياً، وإن كان بمقدور المرء العثور على نماذج من "تأثير العدسة المحدبة" بمشاهدة الارتفاع ثم الانخفاض المتميزين فى التكبير عندما يتحرك جرم ما فى الهالة تقريبا عبر خط النظر إلى النجم الذى فى الخلفية^(٢٩). ولسوء الحظ حتى لو ساهمت نجوم قليلة الكتلة بكل المادة المعتمدة فى هالة مجرتنا، فإن احتمال حدوث تأثير عدسة محدبة ملموس، فى أية لحظة، على امتداد خط نمطى لا يصل إلا إلى 3×10^{-6} (لا تتوقف هذه القيمة على K ، لأن المقطع الذى يحدث فيه تأثير العدسة يتناسب مع K ، فى حين أن عدد الأجرام المتوقع إحداثها لتأثير العدسة واللازمة لتعويض مادة الهالة القائمة تتناسب عكسياً مع K ، ولتحين الفرصة لاستشعار هذا التأثير ينبغى على الشخص المواظبة على المحاولة لفترات مديدة للغاية، والأكثر تفاؤلاً المواظبة على مد النظر إلى الملايين من النجوم المختلفة. وفى السنوات الأخيرة تم وضع برامج ممنهجة للتسجيل المنظم لدرجة لمعان ملايين النجوم فى السحابة الماجلانية الكبرى.

تكشف هذه البرامج بطبيعة الحال الآلاف من النجوم المتغيرة من أنواع مختلفة. ويمكن التحدى فى كيفية التوصل إلى التغير ذى الطبيعة المتماثلة من حيث وتيرة تدرج التغير ما بين الارتفاع والانخفاض بتأثير العدسة لا يعتمد بدوره على اللون، بما يعنى أن تكون سعة الذنبية هى لكلا الضوعين الأزرق والأحمر. ولقد تم تسجيل أول مشاهدة موثوق فيها لتأثير العدسة عام ١٩٩٣: إذ عثر على نجم يتزايد لمعانه ثم يخبو فى توقيتات تتفق مع ما يتوقع إذا ما تدخل جرم ما وتحرك بانتظام عبر خط البصر. ولقد وصل معامل زيادة اللمعان عند ذروته إلى الرقم ٧، وكان لمنحنى الاستضاءة نفس التدرج لكلا الضوعين الأحمر والأزرق. وقد هدف البحث التالى لذلك إلى تجميع بيانات تكفل الإجابة على سؤالين محوريين: ماذا عساها تكون هذه الأجرام التى تحدث "تأثير العدسة" هذا (وبصفة خاصة، ما هو مقدار كتلة كل منها على حدة)؟ وما النسبة التى تسهم بها هذه الأجرام - مجتمعة - فى تكوين المادة المعتمدة فى الهالة المجرية؟

وحتى وقت كتابة هذه السطور، ما زالت الإجابة على هذين السؤالين مبهمة إلى حد ما، حتى رغم أن عدد حالات الرصد الموثوق بها قد تضاعف^(١٣٠). فإذا عرفنا موقع الأجرام التى تسبب التأثير العدسى عبر خط المشاهدة، وسرعة تحركها فى الاتجاه العرضى، أمكن الاستدلال على كتلتها مباشرة وذلك لأن المقياس الزاوى للتأثير العدسى (أى مقدراً بالدرجات)، بالنسبة لشكل هندسى ما يتغير مع \sqrt{k} ، وبنفس المعدل تتغير فترة التأثير العدسى. ولكن حتى إذا كانت كتلة الأجرام التى تسبب التأثير العدسى متماثلة فمن المتوقع أن تتباين فترات ذلك التأثير عبر نطاق عريض، لفترة التأثير تتوقف على موقع العدسة (الافتراضية) على طول خط الرصد، وعلى اتجاه حركتها. فعلى سبيل المثال حتى لو كانت k صغيرة، فإن فترة التأثير العدسى ستطول فى بعض الحالات بسبب الأجرام الموجودة فى الهالة التى يتصادف أن يكون اتجاه سرعاتها متطابقاً بالتقريب مع اتجاه إبصارنا خلال عملية الرصد.

وهناك جرمان يستدل على أن كتلتهما حوالى ٥, ٠ ك ش - إذا كانا ينتميان إلى التجمع النجمى داخل الهالة. وهما أكبر كثيرا من أن ينتميا إلى "طائفة الأقزام"، ولكنهما كذلك أقل كثيرا من أن يعتبرا ثقيين أسودين (والثقب الأسود يمثل نقطة النهاية فى رحلة تطور نجم ما). وتتطابق كتل هذه الأجرام مع حالة "الأقزام البيضاء" (*)، بيد أننا فى هذه الحالة فى حاجة إلى التسليم جدلا بأن هالتي المجريّة كانت تحوى فى الأصل عددا هائلا من النجوم تفوق كتلة كل منها كتلة شمسنا ببضعة أضعاف. ويصعب علينا التوفيق بين هذا الافتراض وبين الدلائل الأخرى على تطور المجرات. ومن ناحية أخرى يثور الشك فى أن الأجرام المتسببة فى التأثير العدسى قد تكون واقعة - مثلها مثل النجوم التى فى خلفية الصورة المرصودة - فى السحب الماجلانية. وفى هذه الحالة فإن السرعات فى الاتجاه العرضى كان يجب أن تكون أقل، وكان يجب أن تقل الأرقام الدالة على كتلة الأجرام التى تسبب التأثير العدسى.

ينبغى علينا الانتظار لمزيد من البيانات قبل أن نعلم على وجه اليقين كم هناك من الأجرام المعتمدة ذات الكتلة التى تماثل كتل النجوم، وما النسبة التى تسهم بها فى كتلة الهالة الإجمالية، بل وما عساه أن يكون كنهها. على أية حال فإننا الآن متيقنون بصورة مطلقة من أن الظاهرة العدسية يمكن تمييزها عن غيرها من مسببات أنواع النجوم ذات اللمعان المتغير. وقد كشف برنامج مستقل لأرصاد وُجهت صوب مركز مجرتنا عن عشرات الحالات (وإن كانت هناك ظلال من الشك الطفيف حول هذه الحالات فى أن الأجرام المسببة للتأثير العدسى هى فى الأساس نجوم اعتيادية). ونحن فى ارتقاب المزيد من المعلومات فى السنوات القليلة القادمة من قاعدة البيانات التى بدأنا فى تجميعها عن طريق برامج أرصاد عالية التقنية (وإن كانت باهظة التكاليف).

(*) القزم الأبيض هو نجم باهت اللمعان شديد الكثافة، إذ تضارع كتلته كتلة الشمس فى حين يضاهى حجمه حجم الأرض. يعتبر القزم الأبيض آخر مراحل تطور النجوم صغيرة الكتلة نسبيا بعد مرورها بمرحلة العملاق الأحمر (red giant) (المترجم)

ومن المرشحين الآخرين الذين كثرت المناقشات حولهم باعتبارهم مصدرًا للمادة المعتمدة، الثقوب السوداء، وهي بمثابة البقايا من تجمعات افتراضية من نجوم بالغة النّقل، لعلها تكونت في مرحلة مبكرة من تاريخ المجرات (٢٨، ٣١). وهذه البقايا المسماة بالأجرام فائقة الكتلة "very massive objects" أو اختصاراً VMO قد تتوافق مع أغلب الأدلة الفلكية والفيزيائية إذا كانت كتلتها تقع ما بين ١٠٠٠ مليون ^{ك.ش.} وكما سبق أن ذكرنا فإن احتمال حصول الظاهرة العدسية لدى توقيت بعينه يعتمد على كتل الأجرام - كل على حدة - التي تتكون منها الهالة. وعلى أية حال فإن الأمل في استشعار هذه الظاهرة أضعف من الأمل في العثور على "أقزام بنية"، لأن حالات الظاهرة العدسية المنفردة أبطأ وأقل تكراراً في حالة الأجرام فائقة الكتلة، وسيطول الوقت بالشخص الراصد حتى يستشعر ولو واحداً منها، إذ أن هذا الوقت يتناسب مع \sqrt{M} ك¹.

٢ - ٤ - ٢ للظاهرة العدسية متناهية الصغر عبر المسافات الشاسعة على المقياس الكونى:

لكثلة محددة ك^١، تتناسب زاوية الظاهرة العدسية (و) طرديا مع $\frac{1}{f}$ حيث ف هي المسافة (انظر شكل ١١). ومن ثم فإن مساحة المقطع الذى تحدث فيه الظاهرة العدسية بتأثير كتلة ما والذى يتناسب طرديا مع (وف)^٢، يتزايد بنفس معدل تزايد ف. فلنفترض تأسيسا على ذلك، أننا - بدلا من النظر إلى نجم فى السحب الماجلانية - نرصد شبه نجم (كوازارا) على مسافة ١٠×٥^٩ بارسك منا، أى نحو مائة ألف ضعف المسافة إلى هذه السحب. فلو أن مجرة - كمجرتنا - تقع فى منتصف المسافة بيننا وبين شبه النجم هذا، فإن الفرصة فى أن واحدا من الأجرام فى هالة المجرة النائية هذه سيحدث تأثيرا عدسيا فى الكوازار هي ٣% (سيكون الاحتمال حتى أكبر من ذلك لو مر خط الإبصار خلال الجزء الداخلى من هالة المجرة). والمقياس الزمنى المميز هنا أطول (فهو يتناسب مع ف^٣/٢) ولكنه يظل فى حدود سنوات فى حالة الأقزام البنية. وعلى ذلك فمن الأسهل استشعار الظاهرة العدسية من خلال قزم بنى فى مجرة تقع فى منتصف مسافة تمتد حتى نصف قطر هابل^(*)، من استشعارها فى هالة مجرتنا نحن. على أية حال فإن هذه المزية توازنها صعوبات مناظرة، إذ تصعب مراقبة أعداد كبيرة من الكوازارات عن مراقبة أعداد غفيرة من النجوم. وعلاوة على ذلك فمقدار الزاوية الحقيقى حتى مع أكثر أجزاء شبه النجم تكتلا لا يمكن افتراض أنها أقل من القيمة المتوقعة للزاوية (و) والتى تبلغ قيمتها، فى حالة زيادة المسافة ف عن ١٠^٩ بارسك، أقل من ١٠^{-٦} ثانية قوسية فى حالة القزم البنى^(٢٢). وهناك محددات إحصائية خاصة بطبيعة تغير الكوازار تضع حدا أقصى لمقدار مساهمة الأجرام الدخيلة فى المعامل (ى) ^(**) (١٣٢).

(*) نصف قطر هابل هو للتبسيط نصف قطر الجزء من الكون الذى بمقدورنا رصده، أو هو كما ذكرنا سابقا للمسافة التى تصل عندها سرعة تباعد المجرات نظريا لسرعة الضوء، وقيمة نصف قطر هابل تقريبا ١٠^{٢٧} سم. (= سرعة للضوء ÷ ثابت هابل) المترجم

(**) المعامل ى أو أوميغا هو النسبة ما بين كثافة الكون الفعلية والكثافة الحرجة (يرجى الرجوع لبند ٢ - ٣ - ٢). المترجم

والتغير المتوقع في المعان بالنسبة لبقايا الأجرام فائقة الكتلة أبطأ من أن يتم استشعاره على مدى الأعمار البشرية. على أية حال فإن ظاهرة العدسة المحدبة التي تسببها هذه الأجرام (والتي تصل معها قيمة الزاوية (و) ما بين ٠.٠٠١ و ٠.٠٠١ ثانية قوسية) يمكن أن تكشف عن نفسها من خلال التشوه في الخلفية التي يمكن مسحها بتقنيات (قياس التداخل الطويل جدا عبر الخط الأساسي) (*) very Long baseline interferometry VLBI بدقة تتجاوز ٠.٠٠١ ثانية قوسية. (٣٣، ٣٤).

٢ - ٤ - ٣ المادة غير الباريونية:

تعتبر بقايا الأجرام فائقة الكتلة VMO، شأنها شأن "الأقزام البنية" من المواد الباريونية ويحدد معيار الاندماج النووي الأولى (شكل ٤) قيمة النسبة ما بين الباريونات والفوتونات (ت)، ومن ثم فإنه يضع حدا أقصى يصل إلى نحو ٠.١ هـ. هـ^{-٢}، للمساهمة التي تشترك بها مادة الباريونات في القيمة (ي) حيث هـ. هـ هو ثابت هابل (**). طبقا لوحدات ٥٠ كم/ث. لكل ميجابارسك. وأفضل تقدير لمدى وفرة الديتيريوم هو نحو ٠.٠٦ هـ. هـ^{-٢}، وبهذا الحد الأقصى، وبدرجة معقولة من الترابط يمكن تجاوزا - اعتبار هالات المجرات المفردة باريونية. ومن جهة أخرى، فإن المقدار الكلى للمادة المعتمدة، وكما يستدل عليه من التجمعات والتجمهرات العظمى (وإن كان ما تم رصده. منها لا يسمح بتحديد بدرجة دقيقة) يتجاوز هذا الحد، حتى باعتبار الحد الأدنى الموثوق به من التقديرات لقيمة هـ. هـ.

(*) نظام VLBI: يقصد به نظام تجميع الأرصاد لنفس الجرم في ذات الوقت من مراقبين راديويين متباعدين (في قارتين مختلفتين مثلا). (المترجم)

(**) سبق القول بأن ثابت هابل هـ. هو المعامل الذي يربط ما بين سرعة تباعد المجرات (مقدرة بالكيلومتر في الثانية) والمسافة التي تفصلها عنا مقدرة بالميجابارسك. وطبقا لأحدث القياسات (عام ٢٠٠٩) تقرر قيمة هذا المعامل بنحو 74 ± 2 أو ٢ كم/ث لكل ميجا بارسك. (المترجم)

ومن يحتاج النموذج القياسي لعملية التكون النووي الأولى لمراجعة شاملة لتحديد ما إذا كان أغلب المادة المعتمدة باريونات. (هناك نماذج غير قياسية بعينها، يفترض طبقا لها، أن الباريونات قد تكتلت على مقاييس أصغر من طول انتشار النيوترونات في وقت حدوث التفاعلات النووية ومن ثم تسمح بقيمة أعلى قليلا لـ (ى ب) (*). على أية حالة فإن الآمال المبكرة^(٢٤) في أن تيسر لنا هذه النماذج الأكثر تراكبا نطاقا أعرض من قيم الكثافات التي يمكن قبولها، سابقة لأوانها.. إذ لم يقع بعد ما يؤيدها^(٢٥) كما لا يتوافر - بشكل كاف - الدليل الفيزيائي على الافتراضات التي تدعمها.

فهل بنا إذن إلى المرشح الآخر لتفسير المادة المعتمدة: المادة غير الباريونية (فهي أكثر إثارة لشغف الفيزيائيين على كل حال). وأكثر بدائلها وضوحا هي النيوتريノوهات. فإذا كانت درجة الحرارة لدى بدء الانفجار الأعظم أكبر من ١٠^{١١} درجة على مقياس كلفن، فلا بد وأن النيوتريノوهات قد وصلت إلى اتزان حرارى مع الفوتونات، ولا بد وأن كثافة كل فصيلة من النيوتريノو بلغت ١١/٣ من كثافة الفوتون. وهذا الكسر ١١/٢ هو حاصل ضرب عاملين: ٤/٢ (لأن النيوتريノوهات عبارة عن فيرميونات أكثر منها بوزونات)، ١١/٤ (الذى هو مقلوب معامل التآنى^(**) الحادث بين الإلكترونات والبوزيترونات (والذى يحدث عندما تهبط درجة الحرارة (د) عن ٤ ك؛ س^٢ ÷ بو أى حوالى ١٠×٥^٩ درجة مطلقة^(***)) والذى من شأنه أن يرفع من كثافة الفوتونات. فكل طائفة من النيوتريノوهات ينبغي تبعاً لذلك أن يكون لها كثافة متوسطة ١,١×١٠^٨ متر^{-٢}. (فى الواقع يصدق هذا

(*) تمثل ى ب الجزء الذى تسهم به الباريونات فى المعامل ى. (المترجم)

(**) التآنى annihilation : ظاهرة فى الفيزياء الذرية حين يلتقى جسيم بجسيمه المضاد فيحاول كل منهما إفناء الآخر، ويتحولان إلى طاقة تساوى تقريبا مجموع كتلتيهما. (المترجم)

(***) ك؛ هى كتلة الإلكترون. س هى سرعة الضوء فى الفراغ، بو هى ثابت بولتزمان = ٣٨ و ١٠×٢٣ جول/درجة كلفن وهو معامل فيزيائى يحدد الاحتمال النسبى لحدوث حالة معينة من ضمن مجموعة حالات فى حالة من الاتزان الحرارى ودرجة الحرارة. (المترجم)

فقط إذا كانت الكتلة أقل من ١ ميجا إلكترون فولت وإلا لخفض الحد الدال على الكتلة في معامل بولتزمان Boltzmann Factor العدد قبل انفصالها عن الفوتونات وثنائيات الإلكترون - البوزيترون، مع افتراض أن جميع النيوتريノوهات مستقرة بطبيعة الحال) ونظرا لأن عدد النيوتريノوهات يتخطى بمراحل عدد الباريونات في نموذج "الانفجار الأعظم الساخن" فإنها ليست بحاجة لمقدار كبير من الكتلة الساكنة rest mass، كي يكون لها تأثير تراكمي مهم على ديناميكيات الكون، ويمكنها أن تسهم بكل المادة اللازمة للوصول للكثافة الحرجة إذا كانت كتلتها ٢٣ هـ - ٥. ٢. إلكترون فولت.

منذ سنوات عديدة، حدس كاوسيك وما كلياند^(٣٦)، وماركس وسزالاي^(٣٧) أن النيوتريノوهات ربما تكون هي مصدر المادة المعتمدة في الهالات المجرية والعناقيد النجمية. في ذلك الوقت لم يجر تمحيص هذا الاقتراح على نحو عميق، ولكن في بواكير عقد الثمانينيات كان الفيزيائيون من سعة الأفق نحو تقبل فكرة أن للنيوتريノوهات كتلة (وعلاوة على ذلك، حددت تجربة أجراها ليوبيموف وآخرون^(٣٨) - تم تجاهلها فيما بعد - للإلكترون - النيوتريノو كتلة مقدارها ٣٦ إلكترون فولت). ويأتى حديثا دليل مثير من جهاز الاستشعار التحت الأرضي "كاميوكاند" في اليابان. فسلوك النيوتريノوهات الناجمة عن ارتباطات الأشعة الكونية بالغلاف الجوى يشير إلى وجود كتلة لها، وإن تكن بالغة الضالة (حوالي ١٠^{-٢} إلكترون فولت) بحيث إنها لا تمثل أهمية على المقياس الكوني.

لقد حظى (النيوتريノو) بشرف التأكيد على وجوده، ولكن لدى الفيزيائيين النظريين قائمة طويلة بالجسيمات الافتراضية التي قد يكون الأجل قد امتد بها وبالأعداد المطلوبة منذ فترة الكون المبكر. وأحد الاحتمالات التي تناولها النقاش على نطاق واسع "الجسيمات الكثيفة ذات التأثير المتبادل الضعيف" weakly interacting massive particles (الومبات WIMPS) والتي تتبأت بوجودها

نظريات التماثل الفائق(*) supersymmetric theories. فإذا كانت الومبات هي المادة المعتمدة المتحركة في حالة مجرتنا فلا بد وأن كثافتها الموضعية في حدود ١٠% من معكوس نسبة كتلة الومبات إلى كتلة البروتون 10^{-31} (ك/ب) سم^{-٣}.

ولا بد وأنها تتحرك بسرعة نمطية للهالة تبلغ حوالي ٣٠٠ كيلومتر في الثانية. وتأتي في الطريق محاولات لعدة مجموعات علمية للتقريب عن (الومبات) بتلمس العودة إلى الأحداث نادرة الوقوع عندما يؤثر أحد هذه الجسيمات تأثيراً تبادلياً مع نواة ما (١٣٨). فمساحات مقاطع(**) هذا التأثير المتبادل الضعيف منخفضة للغاية، وتتوقف المعدلات المتوقعة على افتراضات معينة وعلى نوع المادة المستهدفة، وهذه المعدلات لا تزيد - كنمط عام - عن عدد قليل من المرات في اليوم لكل كيلو جرام من مادة الاستشعار. غير أن النشاط الإشعاعي الداخلي للمعدات المستخدمة والميونات المتولدة(***) من الأشعة الكونية يشكل عائقاً عارضاً وثنائياً لهذه البحوث.

ولذا وجب أن تجرى هذه التجارب عميقاً في باطن الأرض، فلا تشارك الهالة في دوران قرص مجرتنا. ومن ثم سيغلب على الميونات القدوم من اتجاه يمكن التنبؤ به. وعلاوة على ذلك حتى إذا استعملت مواد استشعار لا تعطى معلومات عن الاتجاه فما زال هناك تشخيص لا لبس فيه يمكن به تمييز الإشارة التي تحدثها الومبات بالأصالة عن غيرها من الأحداث الخلفية. ومعدل التأثير المتبادل المنتبأ به نتيجة الومبات حساس بالنسبة للسرعة، ومعدل الحدث المتوسط

(*) نظرية التماثل الفائق supersymmetry أحد بدائل نظرية الأوتار الكونية حيث تقع كل أصناف الجسيمات الأولية على قدم المساواة، وتعنى في السياق الفلكي إمكانية تطبيق خصائص المادة كما نعهدها حالياً، على مراحل للكون المبكرة للغاية وسيتم بحث فكرة الأوتار الكونية في الفصل الخامس (بند ٥ - ٤) من الكتاب. (المترجم)

(**) يقصد بمصطلح مساحة المقطع هنا مدى احتمالية التصادم بين جسيمين أوليين. (المترجم)

(***) الميون muon : جسيم أولى مماثل للإلكترون - أخف الجسيمات بعد الإلكترون وكتلته تماثله ٢٠٧ مرة (المترجم)

يكون له تغير سنوي، إذ إن سرعة الأرض بالنسبة للهالة تتغير مع دوران الأرض حول الشمس. والتذبذب السنوي المتوقع، مع وصوله إلى الحد الأعلى في يونيو وحده الأدنى في ديسمبر، وبسعة ذبذبة في حدود أجزاء من المائة، ستميز - دونما التباس - الأحداث المجلوبة بالومبات عن الخلفيات الأخرى. ولن يأمل حتى الشخص المتفائل في نتائج إيجابية من هذه التجارب بأكثر من نسبة ٥٠%. إلا أن الهدف جدير بالسعى إليه، فالنجاح لن يؤدي بنا فقط إلى معرفة ما يتركب منه الكون، لكنه أيضا سيكشف عن طائفة جديدة من الجسيمات الأولية (٣٨، ٣٩).

والأكسيونات(*) axions هي مرشح آخر طال النقاش حوله (بوصفها مصدرًا للمادة المعتمدة)، بل إن هناك ولعا بإجراء تجارب بحثية عنها عن طريق التحويل إلى فوتونات أو بالتأثير المتبادل بينها وبين مادة ذات مجال مغناطيسي قوى. ولا تبدو الآمال البدايات في هذا السبيل مشجعة، بالقياس إلى الومبات، لأن الفوتونات ستكون في مدى ضيق من الطاقة، بالنظر إلى قلة معلوماتنا عن كتلة الأكسيون. ومن ثم فعلى البحت والتفتيش عن نطاق عريض من طاقات الفوتون (يشمل نطاقات المليمترات وأطوال الأشعة تحت الحمراء) (٣٨، ٤٠).

٢ - ٥ كيف يتيسر التمييز بين البدائل المرشحة بوصفها مصدرا للمادة المعتمدة:

ليس مما يدعو للاندعاش أن يتكون معظم الكون من المادة المعتمدة. فما من سبب يدعو للاعتقاد بوجوب أن (يلمع) كل شيء. وليس من الصعوبة التفكير في البدائل المحتملة والمرشحة لذلك. وتبقى مشكلة التمييز بين قائمة طويلة من الممكنات. ومن الواضح أن الاستشعار المباشر هو أنظف فيصل قاطع في هذا التمييز، والأجرام النجمية المعتمدة في الهالة المجرية يمكن أن تسفر عن نفسها عن

(*) الأكسيون axion: بوزون افتراضى بدون شحنة أو دوران ذو كتلة صغيرة. افترض وجوده لشرح التماثل في القوى النووية الشديدة. (المترجم)

طريق التأثير الجذبوى العدسى (على نطاق بالغ الصغر). فالجسيمات الجليبية من الخارج التى تتخلل المجرة (وبالتالى تنفذ باستمرار داخل كل مختبراتنا) يمكن استشعارها عن طريق التجارب بالغة الحساسية.

كان المغفور له الأستاذ ريدمان Redman من كمبريدج عالم أرصاد مرموقا، يميل إلى التجريب وينأى عن الحدس والتخمين. وكان ينوه بأن أى عالم فيزياء كونية ذى كفاءة بمقدوره أن يوفق بين أية نظرية وأية أرصاد فلكية جديدة. بل إن هناك زميلا أكثر ميلا إلى النقد تمادى فى هذا الاتجاه، مؤكدا أن عالم الفيزياء الفلكية ليس بحاجة حتى إلى أية كفاءة. ولقد ضرب أصحاب نظريات المادة المعتمدة أمثلة "لمبرهنة" ريدمان هذه ولا متداداتها أيضا. ولكن لعل البحوث تتمخض عن نتائج إيجابية فى القريب العاجل. وعلى أية حال تحد ضوابط متنوعة من البدائل الممكن الدفاع عنها. وليس من قبيل التفكير الحالم أو الخيال أن نتوقع احتمال وجود أكثر من نوع واحد مهم من المادة المعتمدة. فعلى سبيل المثال يحتمل أن تحكم المادة المعتمدة غير البارايونية ديناميكيات العناقيد النجمية الضخمة أو ما فوق التجمعات العنقودية حتى ولو احتوت الهالات المجرية المفردة قدرا من الأقسام البنية أو الأجرام فائقة الكتلة.

وإذا تمكنت تقنيات علم الفلك من إمطة اللثام عن كنه بعض الجسيمات الرئيسية من تلك التى تتبأ العلماء النظريون بوجودها، فسيكون لذلك طرافته بصورة خاصة. وإذا ما تبين أن هذه الجسيمات هى الممثلة للمادة المعتمدة، فعلينا أن نوجه نظرنا شطر المجرات، والنجوم وإلى ذواتنا نفسها فى منظور ذى تسلسل تنازلى. لقد خلع كوبرنيكوس كوكب الأرض عن عرش مركزية الكون. وفى بواكير القرن العشرين أنزلنا "شابللى" و"هايل" عن رتبة أى موضع متميز ذى حظوة فى فضاء الكون. أما الآن فربما لزم لنا أن نتخلى عن (الانحياز) للباريونات. فالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات التى تكون كل عالم الأفلاك ربما كانت كلها نوعا من الأفكار الجامحة فى كون تهيمن فيه "الفوتينوهات"

و"النيوترينوهات" على كل أوجه الحركة. لعل المجرات العظمى ما هي إلا برك صغيرة من الرواسب في سحابة من مادة غير مرئية أكبر في كتلتها وانتشارها بعشر مرات.

وبصرف النظر عن الاستشعار المباشر فهناك نهجان آخران يمكن عن طريقهما تضيق مجال البحث عن المادة المعتمدة:

أ- سنستعين بلا شك بالفيزياء الأساسية. فنحن لا زلنا لا نعرف أى نوع من الجسيمات في عالم "التماثل الفائق" كان موجودا في أكثر مراحل نشأة الكون تبكيرا، ولا نعرف ما هي مساحة مقاطعها لإفناء بعضها بعضا. بيد أننا إذا عرفنا الكتلة ومساحة مقاطع الإفناء لكل طائفة (مع مراعاة أية أفضلية ممكنة للجسيمات على حساب الجسيمات المضادة)، أمكننا من ناحية المبدأ حساب كم منها سينجو من الفناء. وعندما يخبرنا (أو إن أخبرنا) بذلك التقدم النظرى أو بيانات مسارات الجسيمات في النهاية، فإن عدد مثل هذه الجسيمات المتبقية في كوننا حاليا ومساهمتها في قيمة المعامل (ى) سيصبح التنبؤ به يقينيا، مثلما فعل اليوم بالنسبة لنسب الديتيريوم والهليوم.

ب- بوسعنا أن نحسب التضمينات المميزة لكل فرضية من فرضيات نشأة الكون. ولما كانت المادة المعتمدة هي المهيمنة في مجال التناقل فإن البنى في الكون -على المقياس الكبير وربما بنى المجرات ذاتها وتكوينها - يحددها في المقام الأول كيفية تجمعها وتكتلها بتأثير الجاذبية مع تمدد الكون. وفي هذا السياق تنقسم البدائل غير الباريونية (عن أصل المادة المعتمدة) إلى فئتين أساسيتين: الحارة والباردة، فالنيوترينوهات ذات طاقة أقل من أو تساوى ٣٠ إلكترون فولت تقع ضمن الطائفة الحارة، بمعنى أنه رغم أنها تتحرك الآن ببطء فقد كانت حركتها الحرارية خلال المراحل المبكرة عالية بما يكفى لانسيابها بحرية، بحيث تكون لها تذبذبات متجانسة على المقياس الصغير. أما الفئة الباردة - وأبرز أمثلتها الجسيمات فائقة التماثل والأكسيونات - فعلى النقيض من ذلك لن يكون لها على

وجه الإطلاق سرعات حرارية ذات وزن يُعتدّ به (قيما عدا الأزمنة التي تقل كثيرا جدا عن الثانية الواحدة) ولا يكون لها ضغط محسوس. ومن ثم فيمكن دمجها ضمن النظم المحبوسة على جميع المقاييس حيث توجد التذبذبات الأولية (وكانها البذور التي ينبت منها علم الاستقرار الجذبوي). ويبحث الفصل القادم نشوء بنية الكون.





الباب الثالث

بروز البنية الكونية إلى الوجود

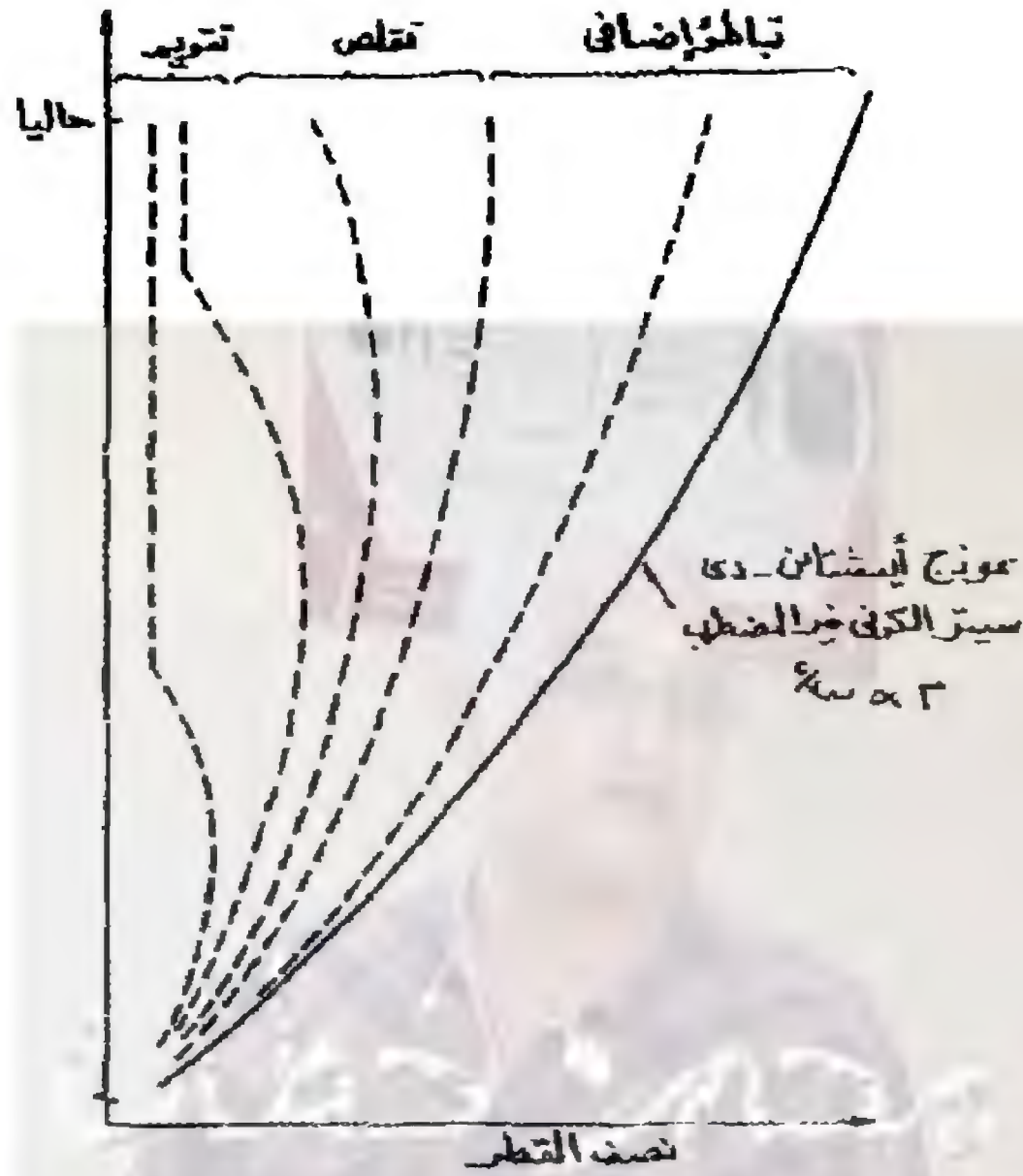
٣-١ عدم الاستقرار الجذبوي:

عندما تقل أهمية معدلات تغير الضغط، فإن التذبذبات الخطية تزيد من عدم انتظام كثافتها مع تمدد الكون. فإذا كان المعامل $y = 1$ ، فإن معدل التنامي في النموذج الخطي linear regime يتناسب بدقة مع معامل المقياس (م) scale Factor. ولدى القيم الأخرى للمعامل y ، يصل تنامي التشوشات الخطية إلى درجة التشبع في الأحقاب الزمنية الحديثة رغم أن سعتها amplitude تظل في تناسب مع المعامل m عندما تكون النسبة $m \div m$ الآن أقل من y (يتم التوصل إلى هذه النتائج من المعطيات النيوتونية عند تطبيقها على كرة هائلة الكثافة أو اضطرابات لها طبيعة الموجة الجيبية sine-wave. ويتبع التنامي قانونا للقوى أكثر من اتباعه قانونا أسياً، لأن كون الخلفية^(*) background universe يتمدد بنفس المعدل الزمني (ج ث) $1/2$ الذي تتنامى به التشوشات) وفي أية منطقة تجاوزت الكثافة المضافة لها لدى عودة الاندماج القيمة 10^{-2} بمقدار محسوس، كانت ستصبح في وقتنا الحالي - غير خطية وتتخرط في نظم مقيدة (محكومة). وبوسعنا أن نفهم لماذا تتناسب $\frac{\Delta t}{t}$ مع m عن طريق آخر، إذا لاحظنا أن منحدرات الضغط لا تكون ذات أثر فعال، وأن الذبذبات المترية (أو النقص في الطاقة لكل وحدة كتلة) التي تصاحب الاضطرابات والتي تتناسب مع j $1/2$ $(\frac{\Delta t}{t})^2$ م 1 ، لا بد وأن تبقى ثابتة خلال التمدد. يبين شكل (١٢) كيفية سلوك أنصاف أقطار

(*) يقصد به مناطق الكون ما بين المجرات والعناقيد.

الكرات ذات الكثافة الفائقة خلال التمدد الكوني، بافتراض إمكان إهمال تأثير الضغط. فإذا كانت الكثافة الزائدة الابتدائية كبيرة، فإن التمدد يتوقف (ولا تعود علاقة الذبذبة خطية) في أية مرحلة مبكرة، وهناك الكفاية من الوقت لكي ينهار النظام وينشأ اتزان تقويمي Virial equilibrium (مع مثل هذا الاتزان تبلغ الطاقة الرابطة الجذبوية ضعف طاقة الحركة الداخلية. ويقتضى هذا حدوث انهيار بمعامل $\gamma = 2$ عند انعدام طاقة الحركة لدى نقطة الانعكاس). فإذا كانت سعة الذبذبة الابتدائية صغيرة نسبياً، فإن الكرة عندئذ تتوقف عن التمدد وتبدأ في التقلص نحو الداخل دون المرور بمرحلة التقويم. وفي حالة كرة ذات كثافة زائدة ابتدائية أكثر صغراً فإنها ستستمر في التمدد رغم أنها ستعاني من زيادة في التباطؤ، ولن تتحرك الجسيمات المكونة لها بالضبط طبقاً لتدفع هابل. وفي الحالة البسيطة من التذبذبات ذات الطابع الكروي في كون آينشتاين - دي سيتر^(*) فإن أى نظام سبق له التقويم لا بد وأن تصل كثافته الآن لأكثر من ٢٠٠ مرة قدر القيمة المتوسطة. والمنظومة التي توقفت عن التمدد وبدأت الآن في الانكماش ينبغي أن تتجاوز كثافتها ٥ أمثال الكثافة الكونية المتوسطة (والكرة بالطبع هي حالة خاصة غير واقعية. وفي الحالة الأكثر عمومية - حالة الجسم الإهليلجي ellipsoid، يمكن أن يبدأ التقوض على طول محور واحد، بينما يستمر التمدد عبر المحاور الأخرى. ولن يكون هناك وقت تنعدم فيه طاقة الحركة، ومن ثم فليس من شأن هذه المنظومات أن تتقلص بمعامل $\gamma = 2$ لينشأ اتزان تقويمي.

(*) نموذج آينشتاين - دي سيتر: في عام ١٩٣٢ طرح آينشتاين ودي سيتر نموذجاً للكون كحل مقبول في صورة كون منتظم متجانس دون انحناء - ثابتاً للكوني صفر وضغطه صفر. (المترجم)



شكل (١٢)

ديناميكيات كرة فائقة الكثافة عند انعدام الضغط في الكون المتمدّد. كلما زاد مقدار الكثافة المضافة الابتدائية، كان توقف تمدد الكرة أكثر تبكيرا. ينبغي أن يكون للمنظومات التي حدث لها تقويم سلفا قيمة \dot{R} ح أكبر من أو تساوى ٢٠٠. أما الآخذة في التقلص فينبغي أن تتجاوز قيمة \dot{R} ح لها القيمة ٥. لاحظ أن معامل زيادة الكثافة *overdensity factor* للمنظومات المقيدة أو المتقوضة يجب أن يكون حتى أكبر في كون يقل فيه المعامل (ي) عن الواحد الصحيح ويقل فيه متوسط الكثافة عن الكثافة الحرجة \dot{R} ح. وبطبيعة الحال لن تكون الاضطرابات في الواقع كروية الطابع.

إن الديناميكيات البسيطة التي يصورها هذا الشكل يصح تطبيقها في سياقين مختلفين - وإن كانا مرتبطين - فإذا تخيلنا كرة مفردة تتكثف حول نقطة مركزية

عالية الكثافة فإن الخطوط المتقطعة بالشكل تمثل سطوحاً كروية مختلفة، الداخلية منها لها نصيب أكبر من زيادة الكثافة، وتبكر في الانهيار، في حين يلم بالسطوح الخارجية اضطرابات يسيرة، ومن ثم فإنها لا تتباطأ إلا بقدر طفيف. وإذا كان الكون المبكر قد احتوى على طائفة من الاضطرابات الأولية بحيث اتجه متوسط سعة ذنبية هذا الاضطراب $\left(\frac{\Delta \theta}{\theta} \right) > \frac{1}{2}$ نحو مقاييس أكبر، فيوسعنا أن نستعمل نفس الشكل لنستدل على أن المنظومات الأصغر تميل إلى الوصول إلى اتزان تقويمي، في حين أن المقاييس الأكبر التي كانت لها إضافات ابتدائية أصغر للكثافة، من شأنها أن تكون أحدث عمراً من الناحية الديناميكية وألا تصل إلى اتزان ديناميكي. ويمكننا عمل نظام محاكاة لنماذج أكثر واقعية لنشأة الكون نفترض تذبذبات عشوائية ذات طيف معين، وذلك بحسابات على مجموعة أجسام متعددة^(*)

N- body calculations

لعل من المفيد وضع تعريف للعنقود cluster بأنه منظومة تحكمها الجاذبية، وتحقق بها - على الأقل في مركزها - اتزان تقويمي، في حين أن العنقود الأعلى supercluster - هو منظومة أكبر - رغم احتمال احتوائها على تكوين داخلي في حالة اتزان تقويمي - في حالة أصغر عمراً على وجه العموم من الناحية الديناميكية، ولعلها حتى لا تزال تتمدد بتمدد الكون، وإن يكن بمعدل متباطئ. لا توجد معظم المجرات في شكل تجمعات عنقودية. وهناك معيار بسيط يقاس به مقدار التجمع على شكل عنقودي، وهو دالة

(*) هي أسلوب للحسابات لتفسير حركة الأجرام السماوية لعدد من الكتل في الأبعاد الثلاثة وباعتبار كتلة كل جسم مركزة في مركزه بحيث يمكن تطبيق الميكانيكا النيوتونية عليه فإذا عرف مكانه وسرعته لدى لحظة ابتدائية من الزمن أمكن تحديد موضعه وسرعته المستقبليتين عند أي وقت، فهي عملية محاكاة لمجموعة متحركة من الأجسام تحت تأثير قوى فيزيائية (كالنقل عادة). وفي عالم الفضاء يستعمل هذا الأسلوب لدراسة عمليات بناء التكوينات الكونية مثل عمليات تكون الخيوط المجرية والهالات المجرية من المادة القائمة وفي دراسة التطور الحركي للعناقيد المجرية (حيث يزيد عدد الأجرام عن ٣). (المترجم)

العلاقة بين موضعى نقطتين Two point correlation function^(*)، والتي تقيس الاحتمال الإضافى للعثور على مجرة أخرى لدى مسافة معينة من المجرة الأولى^(٤٠). وتهبط قيمة هذه الدالة عن الواحد الصحيح لدى المسافات التى تريد عن نحو ١٦ هـ. م. - ميجابارسك، وكنمط سائد ليس هناك سوى عدد محدود من المجرات داخل هذا القطر. والعناقيد الغنية، طبقاً لأى سيناريو لعدم الاستقرار من ناحية الجاذبية، كان ينبغي أن تتطور من مناطق، حيث كانت سعة نذبلة الاضطرابات الابتدائية كبيرة بصورة استثنائية بالقياس لمقياس الكتل للمناظر (على سبيل المثال $z < 3$ قيمة للاضطرابات التى لسعة نذبباتها توزيع جاوس أى توزيع جرسى)^(٤١).

ولا بد أن تكونيات الكون الجلية من مجرات وتجمعات عنقودية وفوق عنقودية - فى المراحل المبكرة والمتضغطة من التمدد الكونى - كانت مجرد مناطق أكثف قليلاً، تخلفت ثم انفصلت فى خاتمة المطاف عن عملية التمدد الكونى. ولا بد أن بعض الاضطرابات الأولية التى حدثت قد أسفرت عن تنامى العناقيد النجمية، وإلا لظل الكون حتى وقتنا هذا محض هيدروجين بارد، دونما مجرات، ولا نجوم، ولا كائنات حية. وقد تم عبر السنوات الأخيرة القليلة إجراء عمليات محاكاة عن كيفية تطور تكون العناقيد (التجمعات النجمية) عن طريق الجاذبية. وتتوقف التذبذبات الخطية، التى يتم إدخالها فى بداية عملية المحاكاة، على الافتراضات الكونية، وعلى وجه الخصوص: ما إذا كانت المادة المعتمدة (حارة) أو (باردة) وكذلك على ما إذا كان توزيع التذبذبات يتبع توزيع جاوس ذا الشكل الناقوسى.

(*) دالة علاقة بين نقطتين Two point correlation function: هى علاقة بين متغيرين عشوائيين فى نقطتين مختلفتين فى المكان والزمان، وعادة ما تكون دالة فى المسافة أو الزمان بينهما. (المترجم)

(**) منحنى التوزيع الطبيعى (توزيع جاوس أو التوزيع الجرسى): ويقصد به تركيز الأغلبية (المعظم) فى الوسط وتعرف σ بالانحراف المعيارى variance or standard deviation وهى مؤشر لامتداد منحنى التوزيع فى الاتجاه الأفقى. (المترجم)

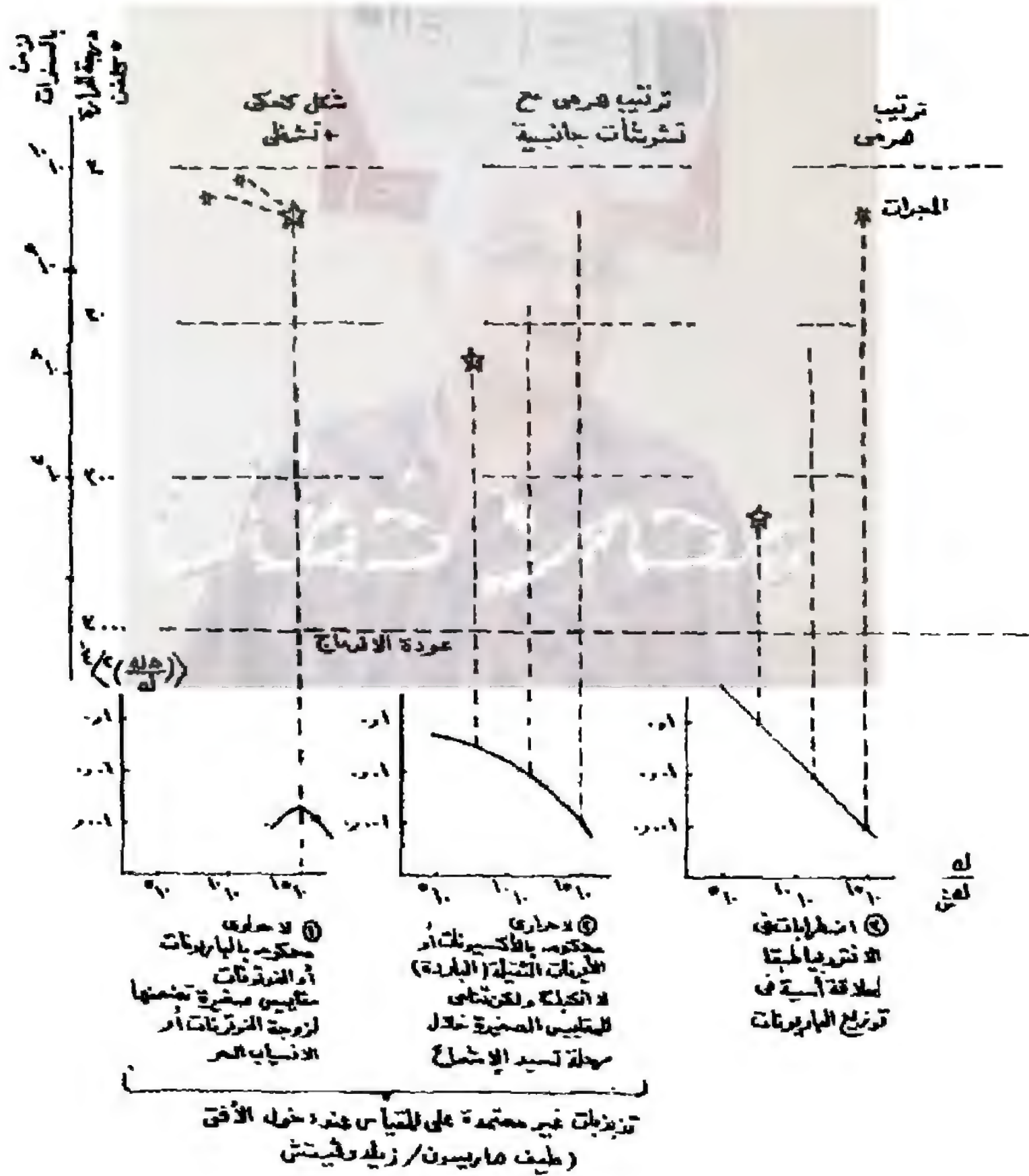
٢.٣ طيف التذبذبات عند زمن عودة الاندماج^٩

عند عودة الاندماج، عندما كان عمر الكون نحو ثلاثمائة ألف سنة، وكانت درجة الحرارة قد هبطت لنحو ٣٠٠٠ درجة على المقياس المطلق، انزاح إشعاع الجسم الأسود في اتجاه الجانب الأحمر من نطاق الضوء المرئي، ودخل الكون - بالمعنى الحرفي - في حقبة مظلمة استدامت حتى تكاثفت أول المنظومات المحكومة بالجاذبية، وبدأت في إرسال إشعاعها. نحن لا نعرف متى انبثق أول شعاع ضوء (انظر الباب الخامس). وربما كانت هذه الحقبة المظلمة قصيرة الأمد، وربما امتدت على النقيض من ذلك إلى 10^9 (ألف مليون) سنة، حتى دخل الكون تقريبا في حقبة الكوازارات ذات الانزياح العالي صوب الأحمر. وتظل حيرتنا وقلة علمنا إزاء تلك الحقبة من التاريخ الكوني قائمة، مقارنة بمعلوماتنا عن أول 10^{-35} جزء من أول ثانية من عمر الكون.

إننا نستقرئ الفیصل والعامل المحدد لعملية نشأة الكون وأصله في طيف التذبذبات الحادثة في كثافة، في قيمة الجذر التربيعي لمجموع مربعات قيم التذبذب (r.m.s value)، باعتبارها دالة في معامل مقياس الكتلة mass scale عند لحظة إعادة الاندماج. إن الاضطرابات على كل المقاييس الأعلى من 10^6 ك ش تتضخم بنفس المعدل بعد ذلك. (يخمد نمو الاضطرابات ذات الكتلة الصغيرة حتى بعد أن ينفصل الإشعاع بفعل الضغط الصغير من الباريونات نفسها). وأول المنظومات المحكومة التي تنشأ عن طريق عدم الاستقرار الجذبوي سيكون لها معامل مقياس كتلة تصل عنده سعة ذبذبة الاضطرابات إلى نهايتها العظمى، ومتى أسهمت المادة غير الباريونية بالنصيب الأكبر في قيمة المعامل (ي) أو أو ميجا فإنها عندئذ تلعب الدور المسيطر في تكتل الجاذبية اللازمة لبدء نشأة الكون والتجمعات النجمية.

ويتوقف شكل الطيف على الطابع الأصلي، والذي يمكن أن يكون قد تعدل بسبب إخمادات تفضيلية preferential damping على ذات المقياس الأصغر

قبل إعادة الاندماج. ويوضح شكل (١٣) ثلاثة أمثلة، حيث تم توقيع سعة الذبذبة عند زمن إعادة الاندماج t_c على مقياس للكتلة مداه 10^{10} ك g وذلك لتمثيل سعة الذبذبة في يومنا الحالي تمثيلاً صحيحاً على هذا المقياس (المزيد من الإيضاح انظر الشرح المرفق بالشكل).



شكل (١٣) (أنظر الشرح والتعليق)

شكل (١٣)

تعتمد العمليات المؤدية إلى نشأة الكون وتكوينه، بعد عملية عودة الاندماج، على شكل طيف التذبذبات التي بقيت واستمرت بعد عمليات الكبح $damping$ وغيرها في الحقب الأكثر تبكيرا. وبعد لحظة إعادة الاندماج (بعد $\frac{1}{2}$) يستمر التنامي في صورة خطية وتقريبا وفقا لعلاقة التناسب $\frac{t}{t_0}$ تتناسب مع $n^{\frac{1}{2}}$ (التفاوت في الكثافة يتناسب مع الزمن مرفوعا للأس $\frac{1}{2}$). سيكون لأول المنظومات المحكومة بالجاذبية التي تتكون، كتلة تصل معها تفاوتات الكثافة لدى n إلى قيمتها القصوى. وقد رُفقت أحقاب الانهيار بعلامات النجمة* في أعلى الشكل. في الحالة (١) والتي تشبه ما هو متوقع إذا كانت نسبة الباريونات إلى الفوتونات منتظمة والمادة المعتمدة في صورة نيوتري노ها، فإن التجمعات فوق العنقودية هي أولى المنظومات التي تتكاثف، وتتكون في زمن أحدث. والنماذج من هذا النوع تواجه صعوبات حيث إننا نرصد مجرات ذات معامل انزياح صوب الأحمر (ز) يصل إلى حوالي ٥، في حين إذا انهارت التجمعات فوق العنقودية لدى هذا الزمن، لكانت الآن أكثر كثافة، ولبدأ لها تفاوت كثافة أكبر مما نشاهده. في الحالة (٢)، تتكاثف المنظومات الباريونية ذات الكتلة من الرتبة 10^4 ك في (أبار طاقة وضع)، تنتج عن جسيمات المادة المعتمدة الباردة، المفترض أنها تتحرك ببطء بحيث إنها لا تصبح متجانسة - على المقياس الصغير - كما تتجانس النيوترينوها. (هذه الحالة الخاصة تناقض باستفاضة فيما يلي). وتبين الحالة الثالثة لطيف الذي ربما يظهر في هذه الحالة من طيف اضطرابات ذي علاقة أسية مع نسبة الباريونات إلى الفوتونات. في الحالة الثانية والثالثة ستتكون منظومات تحت - مجرية قبل تكون المجرات. إذا توفرت لهذه المنظومات تحت المجرية طاقة خارجية، فيمقدورها - من ناحية المبدأ - أن تولد اضطرابات ثانوية على المقاييس الكبيرة، ربما اكتسحت الاضطرابات الأولية الأصلية.

ويبين للعمود الأيمن في شكل (١٣) طيف (الضوضاء البيضاء) (*) بسعة نيزية تتزايد بصورة أسية مع الاتجاه نحو المقياس الأصغر. وهنا لدينا ترتيب أو تسلسل وتدرج هرمي (من أسفل لأعلى) لتفسير نشأة الكون، حيث تبرز للوجود أولا الأجرام تحت مجرية (من الرتبة 10^{16} ك^٦ م^٣) ثم المجرات، ثم العناقيد (وربما حدث هنا بعض التشابكات الطريفة، فقد ينطلق إشعاع نو طبيعة انفجارية من الأجرام الصغيرة المحكومة الأولى، فيحدث عدم تجانسات ثانوية على مقياس كبير، من شأنها أن تطغى على تلك الموجودة أصلا). وحيث إن العمليات الفيزيائية التي تتوقف على المقياس في حقبة الكون المبكرة ($n > n_c$) من شأنها أن تعدل أي طيف كان فليس هناك نموذج طبيعي فيزيائي يؤدي إلى علاقة خطية لهذا النوع عند $n = n_c$. أما العمودان الآخران بالشكل فيوضحان الأطياف المتوقعة إذا كانت المادة غير الباريونية هي المسيطرة.

والعمود الأيسر في شكل (١٣) يبين الطيف المتوقع عند n_c إذا كانت النيوتريونات ذات الكتلة التي تساوي $n_c = 10 - 20$ إلكترون فولت. وحينما كانت درجة الحرارة الكونية أعلى من n_c (أي عند درجة حرارة أعلى من $10^{12} \times 2$ كلفن في هذا المثال) لا بد وأن النيوتريونات كانت تتحرك وفقا لنظرية النسبية، لكن في المراحل المتأخرة لا بد وأن سرعات النيوتريونات الحرارية قد تباطأت بمعدل يتناسب مع $\frac{1}{n}$ (أي مع درجة حرارة الفوتونات). وبسبب السرعات الحرارية (**) العالية قبل n_c ، فلا بد أن تتجانس (٤١) النيوتريونات وحتى رتبة 10^{16} ك^٦ م^٣ على أقل تقدير. وستكون أول المنظومات المحكومة حاليًا هي ما فوق العناقيد، وستنتج المجرات من نوع من عملية نشطى fragmentation ثانوية.

(*) طيف للضوضاء البيضاء أو الضجيج الأبيض: يعطى مستوى للضجيج الصوتي - طبقا لشدته - رموزا لونية للتمييز بين أنواعه (إحصائيا). والضجيج الأبيض مصطلح للضجيج الذي له نفس مستوى الطاقة لكل نيزية ويعطى طيفا منتظما (أي يكون مستوى الضوضاء بالديسيل ثابتا مع كل ترددات). (المترجم)

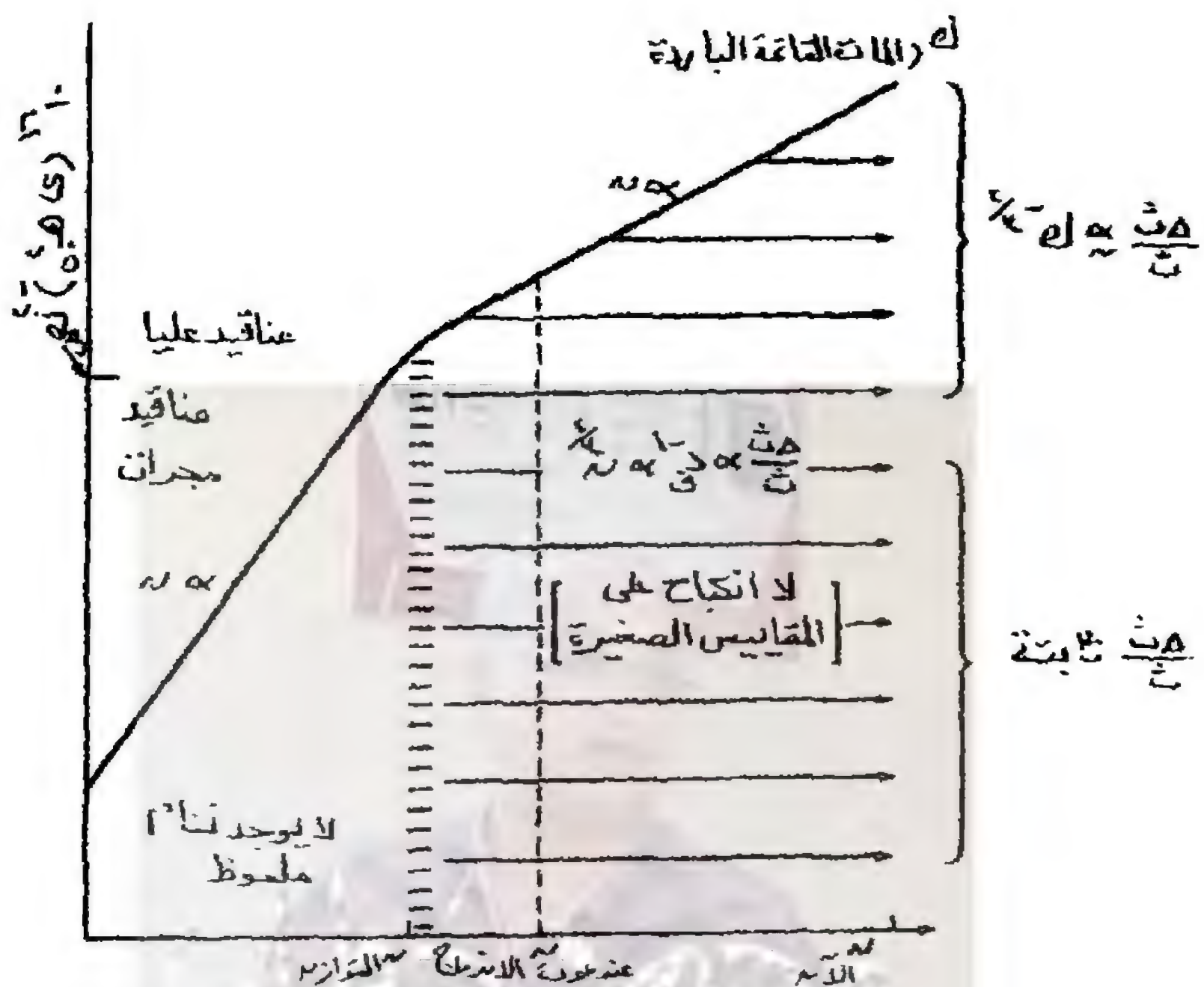
(**) السرعة الحرارية thermal speed: هي دالة في درجة حرارة الجسم تعتمد على ثابت بولترمان ودرجة الحرارة المطلقة والكتلة. (المترجم)

فلنركز تفكيرنا الآن على العمود الوسط في شكل (١٣). إن طيف التذبذب هنا يتخذ شكلا نتوقعه لو أن الوييمات هي المادة المسيطرة (أو أى مادة غير باريونية أخرى باردة، بمعنى أن حبيباتها المنفردة تتحرك ببطء بالغ لا يسمح بالانكباح damping نتيجة السريان الحر كما هو الحال مع النيوتريونات). ويحسب الطيف^(٤٢) على أساس الافتراض الإضافي بوجود طيف "هاريسون - زيلدوفيتش^(*) (٤٣) أصلا. وهذا الطيف يعد طبيعيا من حيث إنه يفترض تذبذبات مترية في الكون المبكر لها نفس سعة الذبذبة ض على كل المقاييس. ويعنى هذا بالنسبة للاضطرابات perturbation على مقياس نصف قطر هابل أن $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ ستساوى ض. وحيز "هابل" على أية حال يحتوى كتلة أقل في الأزمان الأكثر تبكيرا. وفي الواقع، مع ثبات المقدار (ج ث ن^٢) في المراحل الأولى من "كون فريدمان" فإن المقدار ث (س ن)^٢ يتناسب - كما هو واضح - مع ن. ويستوجب طيف "هاريسون - زيلدوفيتش" أن يكون للاضطرابات الكثافة جميعها نفس سعة الذبذبة ض عند الوقت الذى تحتل فيه هذه الاضطرابات حيزا يساوى "حيز هابل". ويحدث هذا في وقت أكثر تبكيرا بالنسبة للكتل الضئيلة. وعلى هذا الأساس، لو أن النمو قد أعاقه الضغط بحيث تناسبت $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ مع (م)، لشرعت الكتل عن المقياس الأصغر في التنامي على الفور، ولاتجهت سعة ذبذبة تذبذبات الكثافة في أية مرحلة نحو مقاييس كتلة أكبر تناسبا مع $\theta^{-2/3}$.

وفي حالة المادة المعتمدة (الباردة)، لا يتبع شكل الطيف عند ن ع شكل دالة أسية بسيطة: فعند المقاييس الكبيرة جدا تناسبت $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ مع $\theta^{-2/3}$ ، ولكن عند الاتجاه إلى مقاييس أصغر، يتحول الطيف باطراد نحو هيئة تكون فيها القيمة $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ شر متوقفة - تقريبا - على ك. ويلخص شكل (١٤) والشرح المرافق له الأسباب وراء ذلك. وهذا التغير في العلاقة يحدث عند مقياس كتلة مساو لذلك داخل نض حيز

(**) طيف هاريسون - زيلدوفيتش: شكل افتراضى لطيف اضطرابات توزيع المادة في كون المبكر، الذى تطور إلى التكوين الكونى الذى نرصده حاليا. (المترجم)

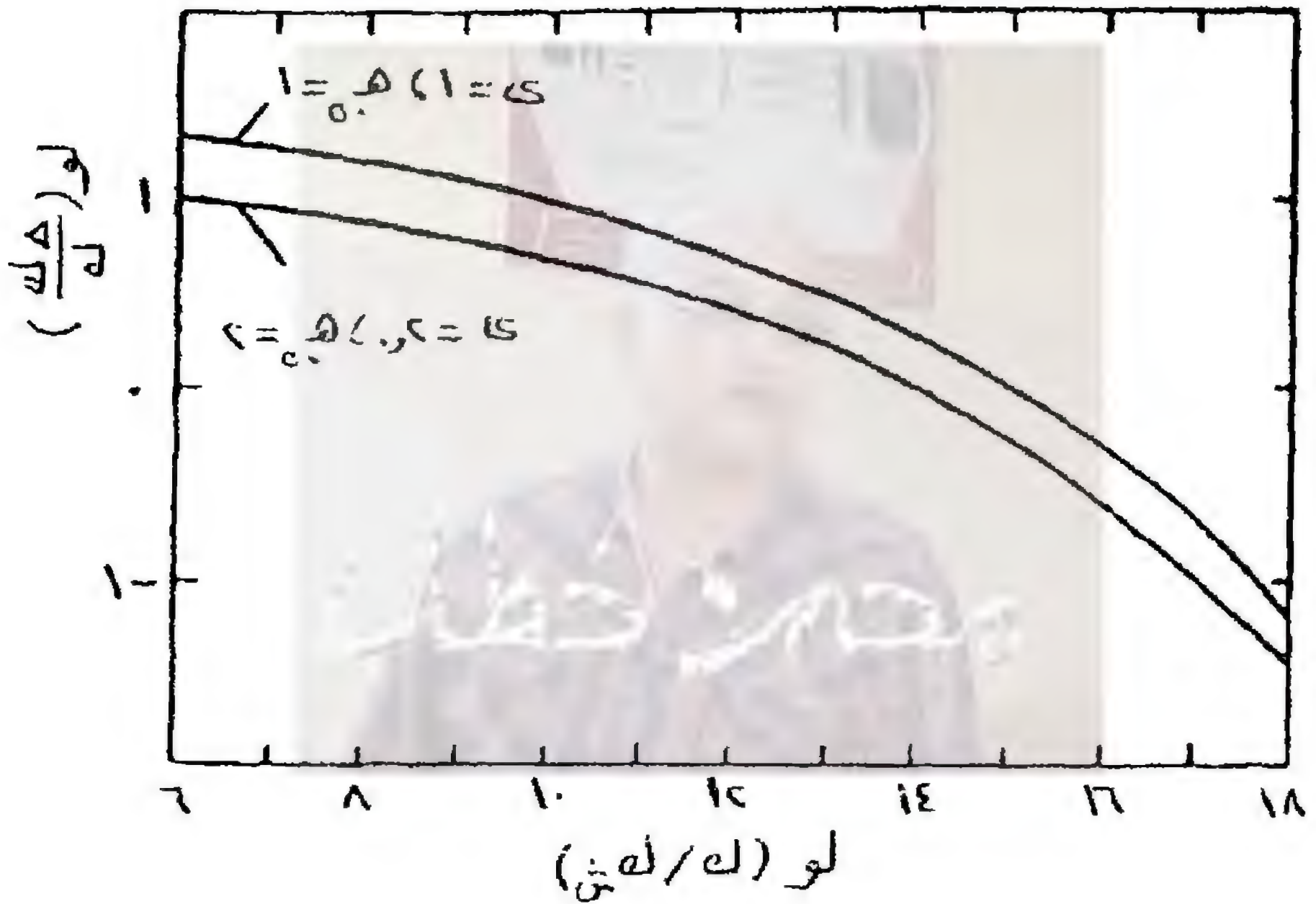
هابل، في الوقت الذي تتساوى فيه كثافتا الإشعاع والمادة (وتتأطر الكثافة لدى الحقة الكونية عند (م.م.) 10^{-1} ي هـ - ١٠ وفي واقع الأمر - وكما يتضح من شكل (١٥)، تبين الحسابات المستفيضة أن الانحناء في الطيف يتدرج ببطء. ولا يتحدد التطبيع للرأسي نظريا، وعند اختيار تطبيع لدى مقياس كتلة يساوي 10^{-1} ك ث، لكي يتوافق مع عناقيد المجرات كما نراها اليوم، يقتضى الطيف ألا تتقوض التذبذبات النمطية لـ 10^{-1} ك ث قبل الحقة المناظرة للقيمة 10^{-1} . ويتدرج تكون البنية في شكل تسلسل هرمي، بمعنى أن الكتل الأصغر تميل إلى الوصول إلى التقويم مبكرا، ومن ثم تصبح مصتفة ضمن فئة أعرض من المنظومات الأكبر. وعلى أية حال، وبسبب شكل الطيف المسطح، فسيكون هناك تداخلات وتشويشات معقدة ما بين المقاييس المتعددة المختلفة. وقم σ^3 في توزيع الكثافة على المقياس المجري، 10^{-1} ك ث ينبغي أن يكون لها ساعات ذبذبة مشابهة للقمم الأكثر نمطية مع كتلة تساوي 10^{-1} ك ث، ومن ثم ينبغي أن تتهاور عند ذات الوقت تقريبا. ومن ثم فإنه من العسير أن تحلل سواء تحليليا أو رقميا حتى النواحي الديناميكية الصرفة أو غير ذات الفاقد في عملية تجمع العناقيد. على أية حال، فإن الدراسات التي أجريت في هذا المضمار جد مشجعة (٤٤، ٤٥). فعند تطبيع ساعات ذبذبات التقلبات بحيث تتوافق مع البيانات عن تجمعات المجرات، فإن الترتيب - على مقياس دقيق - للمادة المعتمدة، يماثل - إلى حد بعيد - أحجام وهيئات هالات المجرات المنفردة. ويبين شكل (١٦) مثالا على تطور مثل هذه التجمعات في المجموعة النجمية Virgo العذراء.



شكل (١٤)

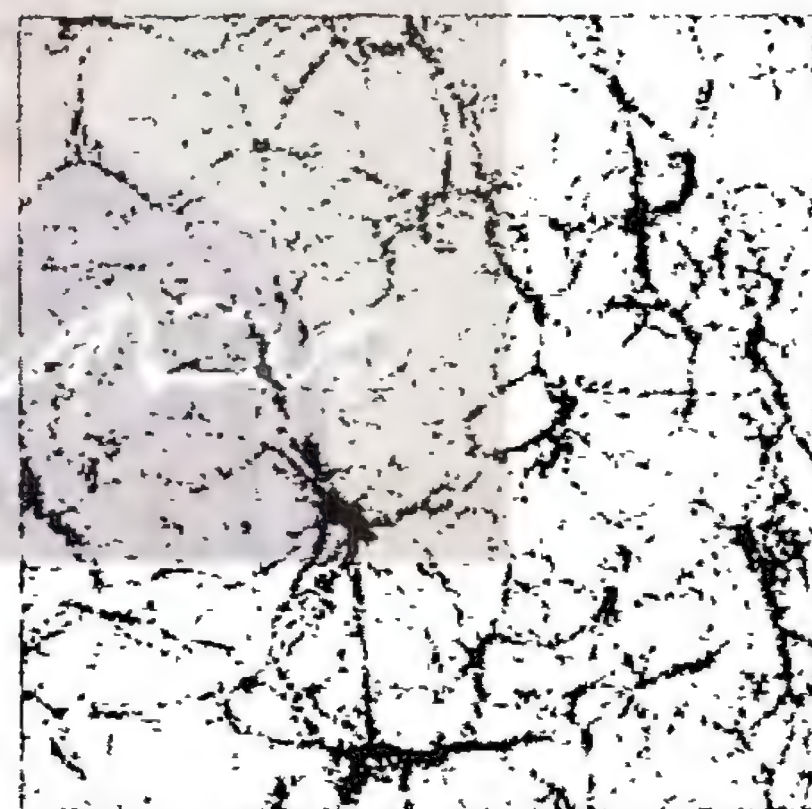
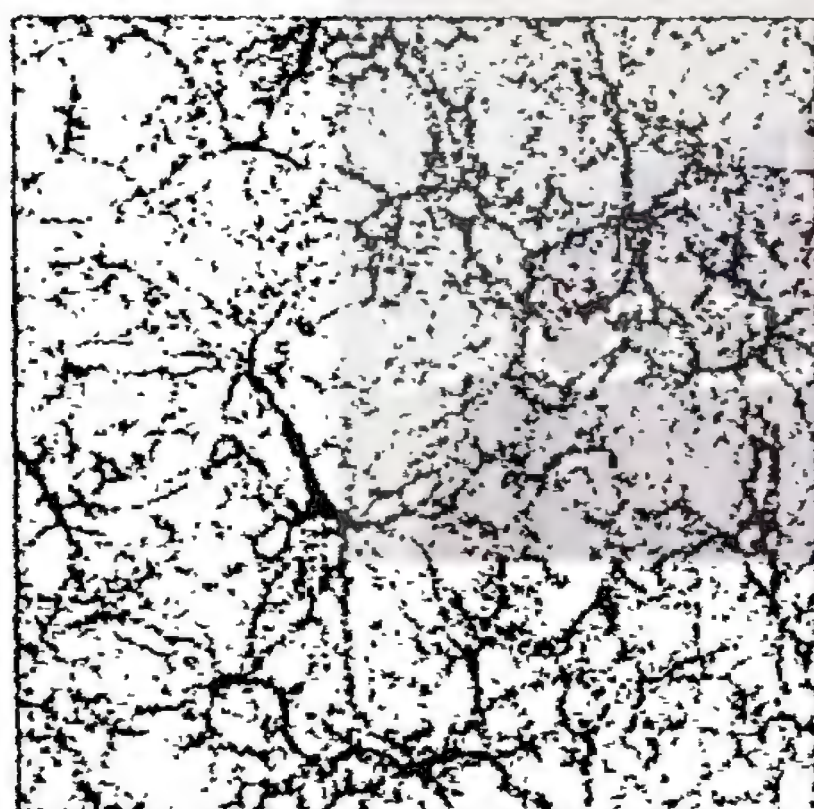
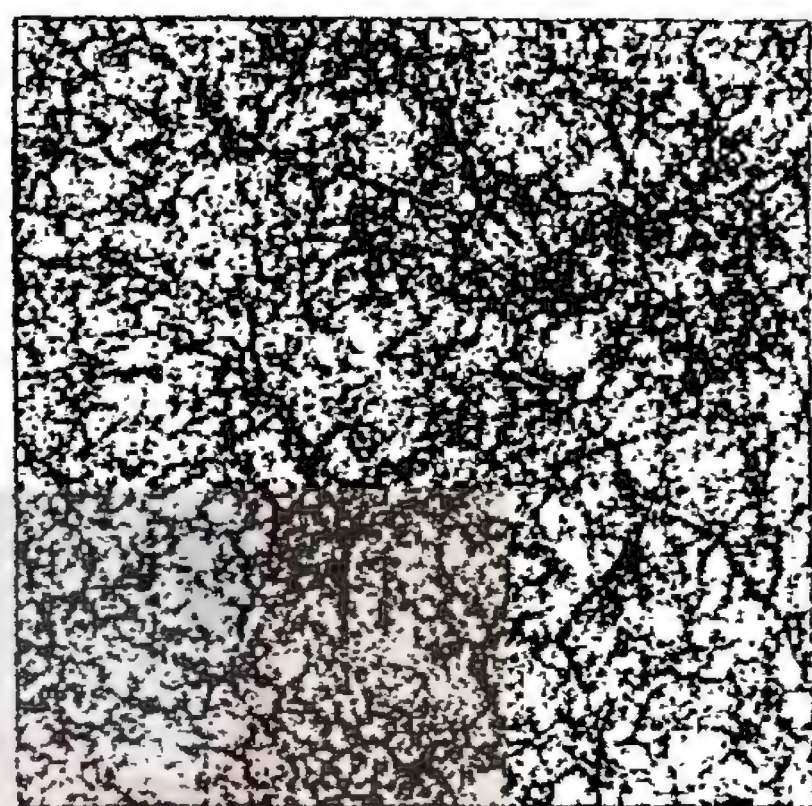
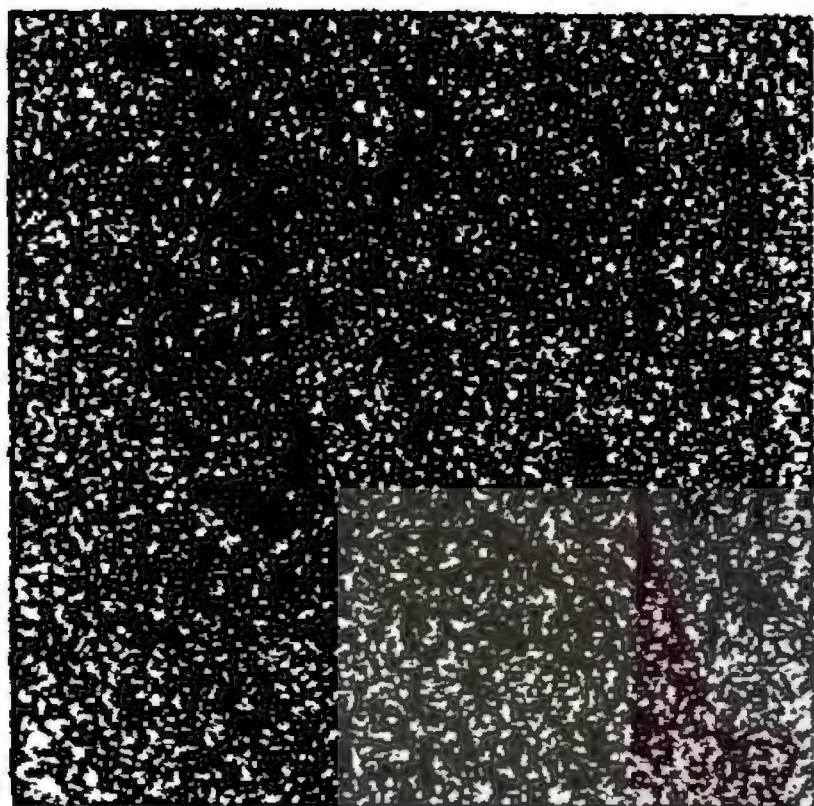
نمو التذبذبات الأديباتية (غير الحرارية) في كون تحكمه المادة المعتمدة الباردة. وكتلة المادة المعتمدة الباردة في نطاق (س. ن) مبينة كدالة في الزمن في الرسم البياني ذي المقياس اللوغاريتمي على المحورين. عند الزمن $N < N_0$ (والمناظر للانزياح صوب الأحمر كما هو مبين بالشكل)، تتضاعف كل المقاييس بنفس المعدل. وقبل N_0 ، عندما يكون التمدد محكوما بالإشعاع لا يكون هناك - بشكل جوهري - أي تنامي، لأن مقياس زمن التناهي يتجاوز بمراحل مقياس زمن الإشعاع. إذا دخلت التذبذبات - على جميع المقاييس - الأفق بسعة نذبية ض متساوية (افتراضية هاريسون - زيلدوفيتش) فإن الطيف الموجود اليوم من شأنه أن يتخذ الصيغة المدونة على الجانب الأيمن (وشكل الطيف المحسوب بدقة يبينه شكل ١٥). وتبدأ اضطرابات المادة القائمة الباردة في التعاضد عند N_0 ، في حين يكبح ضغط الإشعاع، تنامي اضطرابات الباريونات على المقياس المناظر حتى وقت عودة الاندماج المتأخر N_1 . لذا فتذبذبات المادة القائمة الباردة لها بداية

head (حيث تكون الباريونات قادرة على السقوط في آبار طاقة الوضع الناتجة بعد ن ع). ويسمح ذلك بنموذج مقبول. لنشأة الكون بسعة نيزية تنبذات أقل ض، وتنذبذبات خلفية موجات ميكرونية أقل، عما في الكون المحكوم بالباريونات.



شكل (١٥)

القيمة المتوسطة للجذر التربيعي لمجموع مربعات التذبذبات (r.m.s) بوصفها دالة في الكتلة ك لنمونجين من المادة المعتمدة الباردة (مقتبسة من بلومنتال وآخرين - مجلة ناتشر Nature - ١٩٨٤ - العدد ٣١١ - ص ٥١٧).



شكل (١٦)

إسقاط مستوى (على بعدين) لمواضع الجسيمات في شرائح من محاكاة للكون ذي المادة القاتمة الباردة CDM بقيمة $\gamma = ٠.٣$ ، $\gamma = ١$ ، $\gamma = ٠.٧$ يبلغ طول ضلع الصندوق الخاضع للحسابات $٢٤٢,٦ \div \text{هـ.م.}$ ميجابارسك والشريحة الموقعة لها سمك $٢/٥ \div \text{هـ.م.}$ ميجابارسك والحيز بمجمله يحتوى على ١٦٧٧٧٢١٦ جسيما. وللظروف الابتدائية طيف قوى power spectrum مشابه لذلك المبين بشكل ٣-٤ من المرجع المذكور، ومستعدلة لتعطي الوفرة المرصودة في يومنا الحالي

للعناقيد الثرية. وتناظر الحقب الزمنية المبينة انزياحات نحو الأحمر مقاديرها ١٠، ٣، ١، صفر (أمدنا بهذا الرسم أدريان جيكينز وكارول فرينك، والمحاكاة موصوفة بالتفصيل في مقال جيكينز وآخرين ١٩٩٨ في AP.J العدد (٤٩٩ - ص ٢٠).

٣ - ٣ هل الكون مسطح:

في مراجعة نقدية مشهودة يعود نشرها إلى عام ١٩٧٤، لخص جوت وجن وشرام وتينسلي^(٤٧) النقاش الدائر حول المعامل (ي). فقد انتهوا إلى خلاصة مفادها أن الاستدلال من ديناميكيات التجمعات العنقودية والمجرات، إلخ.. تحبذ قيمة للمعامل ي تبلغ ما بين ١،٠، ٢،، وأشاروا إلى أنه لو كانت مادة الكون باريونية فإن الحد الأدنى من هذا النطاق يتوافق مع القيمة التي يمثلها تكون النوى وفقا لنموذج الانفجار الأعظم لدى قيمة $h = ١$ ، $n = ٢$ ، 10×٢ سنة تقريبا (وهي قيمة مترابطة مع الأعمار المقدرة لأكبر النجوم سنا وما إلى ذلك). ولقد تراكمت منذ ١٩٧٤ أدلة أخرى عديدة، وعلى نحو خاص من خلال ديناميكيات العناقيد النجمية، ومقدار وفرة العناصر. وعزز ذلك نشر بعض البحوث النظرية ذات العلاقة بنفس الموضوع بعد تنقيحها. ولكن إذا جاز للمرء أن يحدث مناقشات جوت ورفاقه، فلن يغير من جوهر خلاصات استنتاجاتهم في كثير. على أن توجهات العلماء النظريين قد تبدلت - على ما يبدو - على نحو ملحوظ. وقد كان هذا - في جزء منه - عائدا إلى أن موضوع المادة غير الباريونية يحمل في الوقت الراهن على محمل الجد، وهو ما يبدو توقعه - على نحو ما - أمرا طبيعيا. بيد أن العنصر الجديد في هذا النقاش هو مفهوم الانتفاخ inflation^(*) ويلوح أن

(*) يقصد بمفهوم الانتفاخ مرور الكون بحقبة انتقالية عند الزمن 10^{-32} من الثانية من الانتفاخ المرحلي قبل أن يعود ثانية إلى معدل التمدد المعتاد، وعند تلك اللحظة انفصلت القوى الشديدة عن القوى الكهربائية للضعيفة وانطلقت كمية ضخمة من الطاقة اختزننت منذ ذلك الوقت في فراغ الزمكان. أدخل هذا المفهوم لتفسير نجاس الكون على المستوى الكبير. (المترجم)

هذا المفهوم يحل بعض المفارقات لماذا يتوافق معدل تمدد الكون - بكل إحكام - بحيث لم يتقوض كوننا منذ أمد بعيد من ناحية، كما لا يأخذ في التمدد على نحو سريع بحيث تتكثف المجرات من ناحية أخرى، بل يقترح - علاوة على ذلك أن للمعامل γ قيمة الواحد الصحيح تقريبا.

قلو أن γ تساوى الوحدة حقا، فإن بقية المادة المفتقدة ستتحرك بقوة نحو ترجيح المادة المعتمدة غير الباريونية الحارة أو الباردة، لأن عملية تكون النوى وفقا للانفجار العظيم تعزز قيمة للجزء γ ب تقل عن ١.٠ هـ. (انظر الباب الأول).

وكما رأينا في الباب الثاني، فالدليل الحاسم البات على وجود المادة المعتمدة، والمستمد من ديناميكيات هالات المجرات والتجمعات العنقودية المقومة، لا ينهض دليلا على تجاوز المعامل γ للقيمة ١.٠ ترى هل يمكن أن تكون هناك ما زالت مادة كونية متناثرة على نحو ضئيل فيما بين التجمعات النجمية؟ للإجابة على هذا السؤال يلزمنا عمليات مسح وتقييم كمي ومعلومات عن الديناميكيات لكل التجمعات فوق العنقودية الضخمة (التي يطلق عليها الأسوار العظيمة) ^(*)، وكل التكوينات الأخرى ذات الأبعاد الهائلة.

لقد شهدت السنوات الأخيرة تقدما مطردا في توصيف هذه التكوينات وتصوير مخططات لها. ونحن الآن متحققون من أن توزيع المجرات في الفضاء يتبع مخططا ذا مغزى حتى على مقياس الأبعاد الكبيرة (٥٠ هـ. ميجابارسك). إن إحصاءات ليك lick ذائعة الصيت ^(٤٨)، والتي قام بيبلز peebles ورفقاؤه في

(*) السور العظيم great wall يطلق على تجمع من آلاف المجرات المصطفة على هيئة قوس هائل طوله ٥٥٠ مليون س.ض وعرضه ١٩٥ مليون س.ض وسمكه ١٦ مليون س.ض على بعد ٢٤٥ س.ض. وهذا هو فقط الجزء الذي يتم رصده لوقوع بقيته خارج مجال للرصد، ويرجح العلماء أن للقوى الجذبوية الخاصة بهذا التجمع صلة بانحراف سرعات للمجرات عما يقتضيه "تدفق هابل" - يضم السور العظيم من المادة نحو ١٦ ١٠×٥ كتلة للشمس. (المترجم)

العمل بتحليل خواص تجمعات النجوم طبقا لها باستفاضة قد تم في الوقت الراهن استكمالها من خلالها بيانات مسح السماء الجنوبية في المملكة المتحدة. ولقد درس "مادوكس" و "أفستاثيو"^(٤٩) بكميريدج الدوال الرياضية الخاصة بالمجرات وبيانات التجمعات النجمية في هذا المسح، باستعمال آلة قياس أوتوماتيكية خاصة Automatic plate Measuring Machine (APM). ولقد كان الأمر الأكثر أهمية، البرامج المعدة للحصول على مقدار الانزياح صوب الأحمر redshift لعشرات الآلاف من المجرات، ومن ثم إمكانية إجراء هذا المسح لهذه التكوينات في ثلاثة أبعاد^(٥٠).

إنما ينظر علماء الفلك إلى التجمعات النجمية ذات الأبعاد الضخمة كنظرتهم إلى الاختبارات النفسية من خلال "بقعة الحبر" ink-blot test^(*). فالبعض يرى فيها ملامح دقيقة أو فقاعات أو صفائح، بينما لا يرى آخرون سوى حصيلة الاضطرابات ذات التوزيع طبقا لجاوس (التوزيع الناقوسي)^(*). وتشمل الطرق الإحصائية المطبقة على البيانات الإحصاءات الانتقائية percolation statistics ، ودوال الارتباط correlation Functions لثلاثة أو أربعة أجرام، والخواص الطوبولوجية للأسطح ذات الكثافات المتساوية، وما إلى ذلك. والحاجة ماسة لسبل أفضل ليس فقط لتحليل البيانات التي يتعاضم -باطراد- حجمها، ولكن أيضا من أجل وصف نتائج عمليات المحاكاة الرقمية. فواضح للعين - على سبيل المثال أن لمحاكاة المادة القائمة الحارة نطاقا ديناميكيا أضيق من التراكيب المغرية بالنظر لها عن نماذج المادة القائمة الباردة، ويبدو أنها تقدم تمثيلا أسوأ للبيانات الفعلية، على أن الأفضل للمرء أن يقوم بهذه التقديرات بصورة كمية.

(*) اختبار بقعة الحبر النفسى Ink blot psychological test: هي طريقة تقييم نفسى تتبع مدرسة سيجموند فرويد حيث تعرض على المريض - بترتيب مرسوم - مجموعة من بقع الحبر ويطلب من المريض ذكر أول تصور يتبادر إلى ذهنه لدى رؤيتها، ويتم تشخيص حالته وفقا لرد فعله. (المترجم)

(**) أى الذبذبات المتجانسة في جميع الاتجاهات حيث تتركز الأغلبية في الوسط حيث قمة الكثافة. (المترجم)

ومنظومات العناقيد العليا superclusters ليست مقومة، وهي - بصفة عامة - آخذة في التمدد. وعلى الرغم من ذلك فإن التأثير الجذبوى للكثافة الإضافية يجب أن يولد اضطرابات في السرعة يمكن - من ناحية المبدأ - قياسها. وفي الاضطرابات الكروية^(*) (قارن بشكل ١٢) عندما لا تكون الكثافة التي تضيفها كبيرة كبرا يكفي لحدوث انعكاس turnaround، ترتبط السرعة الشاذة peculiar velocity (ويقصد بها الانحراف عن سرعة التدفق وفقا لقانون هابل Hubble flow velocity عند نفس الموضع) بالزيادة في الكثافة، وبالمعامل γ بالعلاقة

$$\frac{\Delta \epsilon}{\epsilon} = D(\gamma) \cdot \frac{\Delta \theta}{\theta}$$
 حيث $D(\gamma)$ هي دالة في المعامل γ تساوى γ تقريبا. أما معامل الزيادة في الكثافة $\frac{\Delta \theta}{\theta}$ فقد لا يتساوى - على أية حال - مع الزيادة في لمعان المجرات. وحقيقة فمن المعتاد النظر إلى هذه المقادير على اعتبار ارتباطها بمعامل انحياز bias factor (ب).

والسرعة الشاذة الموضعية الخاصة بنا بالنسبة لخلفية الموجات فائقة الصغر ينظر إليها بصفة عامة على أنها قد تولدت من خلال عدم التجانس في توزيع المجرات فيما حولنا. فمجموعتنا المحلية تتجذب نحو العناقيد بل هي في الواقع تلفظ بعيدا عن الأماكن الخاوية. وهناك إسهام ملموس في السرعة الشاذة الخاصة بمجموعتنا يبدو في حكم المؤكد مجيئه عبر مسافات تصل إلى ١٠٠ هـ. -^١ ميجابارسك (نطاق الجاذب الأعظم Great Attractor^(**)). وما زالت مسألة ما إذا كان توزيع المادة الكونية حولنا يصل إلى درجة كافية من عدم الانتظام تكفى للإسهام في حركتنا حتى أبعد من هذه المسافات، محل بحث^{٥٣، ٥٤}.

(*) هي الاضطرابات الحادثة في منظومة على شكل سطح كروي.

(**) نطاق الجاذب الأعظم: Great Attractor: هو موقع ما بين المجرات تتكدس فيه مادة كونية كتلتها حوالى ١٠^٦ من كتل مجرة الطريق اللبنى في اتجاه كوكبات هيدرا وقنطورس يستشعر بتأثيره على حركة المجرات وعناقيدها عبر مئات الملايين من السنوات الضوئية تم في عام ١٩٨٦ تحديد موقعه بصفة نهائية على بعد يتراوح ما بين ١٥٠، ٢٥٠ مليون سنة ضوئية. (المترجم)

ما دام الكثافة والضوء يخضعان كلاهما لقانون التربيع العكسي، فبإمكاننا أن نستدل مباشرة على أن الإسهام الذي تسهم به مجرة بعينها أو مجموعة مجرات يتناسب مع ما نلتقاه منها من ضوء ما دامت القيمة (ب) ثابتة. ولاحظ كذلك أن التذبذبات الوضعية الجاذبية $\Delta \kappa$ اللازمة لإحداث سرعة شاذة بعينها (وهي تتناسب مع $\Delta \kappa \div \text{نق}^2$) تكون أكبر كلما زاد المقياس. ويحد هذا المعامل من مقدار السرعة الشاذة (المميزة) لمجموعتنا المحلية التي قد تكون نتيجة التكونات وحتى لمسافات أبعد من (الجانب الأعظم).

وبمقدورنا تطبيق المعادلة رقم (١) على حركتنا نحن المحلية من واقع بياناتنا في بعدين اثنين دونما حاجة لمعرفة مقدار انزياح المجرات صوب الأحمر. والخطوة التالية -على أية حال- أكثر طموحا، وهي تطبيق المعادلة على السرعات المميزة للمجرات الأخرى العديدة بالمثل، وذلك كي نستدل على توزيع كتلة المادة في حيزنا المحلي بأكمله. وبطبيعة الحال يمكن تعيين السرعات المميزة للمجرات الأخرى ذات الانزياح المعروف صوب الأحمر فقط إذا عرفنا مؤشرا مستقلا للمسافة التي تكفي للتمييز ما بين المسافة الفعلية لبعد المجرة، والمسافة التي كان ينبغي أن تبعد بها لو أنها تخضع لتدفق هابل لو لم يداخله تشويش. وينبع عدم التيقن من الناحية العملية أساسا في القياسات وتفسير الانسيابات لدى القياسات الكبيرة من المشكلات في معايرة المؤشرات الدالة على المسافة.

وللعديد من المجرات يمكن تقدير المسافات بقدر كاف من الدقة يسمح بتعيين السرعة المميزة (أو على الأقل مركبة هذه السرعة في اتجاه خط الإبصار). وقد وجدت سرعات تصل إلى حدود عدة مئات من الكيلومترات في الثانية. وإذا كانت هذه الحركات الانسيابية على هذا المقياس الكبير (والتي تماثل حركات طبقات تكتونية^(*)) على المستوى الكوني قد تولدت بفعل الجاذبية، فيمكن للمرء أن يعيد

(*) الحركات التكتونية: tectonic motion يقصد بها تحركات طبقات القشرة الأرضية ونثار الأرضي العلوي بالنسبة لبعضها. (المترجم)

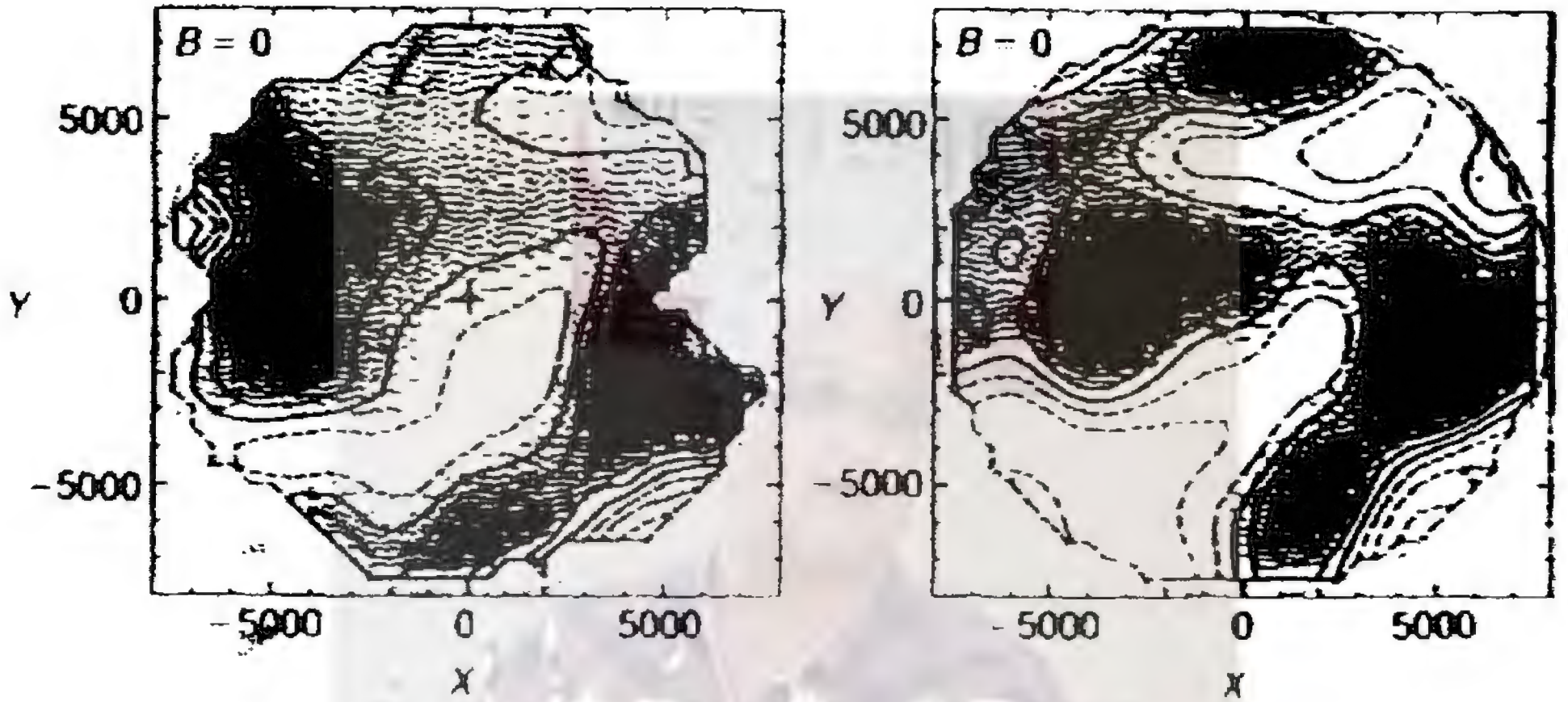
رسم خريطة مجال الكثافة من هذه الحركات، متعاملا مع المجرات ذاتها باعتبارها "جسيمات للاختبار"^(٤٥).

منذ سنوات قلائل كان الكثيرون منا يتشككون في هذه السرعات الانسيابية، من جراء اللابئين الذى ما زال قائما عما إذا كانت المؤشرات للدالة على شدة الاستضاءة (تشتت السرعات، القطر، وما إلى ذلك) هي حقا مستقلة عن الموضع والظروف المحيطة. أما الآن فالبراهين أكثر توفرا وترابطا، على الأقل بالنسبة لبعض أحياء السماء. فحركات المجرات، منسوبة إلى تدفق هابل، تبدو حقا بمسبيلها نحو التجمع في مناطق ذات تركيز عال من المجرات^(٤٥) (انظر أيضا شكل ١٧ والشرح للمناظر له). فلو كانت المسافات المستدل عليها غير صحيحة، والسرعات المميزة المزعومة، زائفة أو مضللة، فما من سبب يدعونا لأن نتوقع أن توصف أو تصور لنا تدفقا ديناميكيا مقبولا. فالتحركات على مستوى المقاييس الكبيرة، وما تتضمنه مازالت مطروحة للنقاش، وإن تكن البراهين قد بدأت في المناقحة عن معايير المسافة التي تستعملها عادة.

وتتضح أهمية التحركات الانسيابية من أننا نستدل بها مباشرة على عدم التجانس في مجالات الجاذبية، وهو ما يمكن أن يعزى السبب فيه إلى المادة المعتمدة. والمجرات هنا بمثابة جسيمات اختبار، ولسنا بحاجة لأن نفترض أن لها نفس توزيع المادة المعتمدة ذاتها.^(٤٦) والانهيارات عن "تدفق هابل" والناجمة عن تأثير التجاذب - وهي انهيارات محسوسة ومنتشرة، أى أنها غير مقصورة على المناطق المحيطة بالعناقيد المقومة - تتوافق مع قيمة منخفضة للمعامل (ى).

وتعزز هذه الحركات على المقياس الكبير بصورة قاطعة أن قيمة المعامل (ى) تبلغ على الأقل ٠,٢، بل وحتى تطرح أن هناك المزيد من المادة المعتمدة، منتشرة على مستوى العناقيد العليا. ومازلنا لا ندرى لها كنهها. على أية حال، كلما كان هناك المزيد منها، ضعف احتمال كونها من الباريونات المعتادة، إذ إن الأخيرة محكومة بعملية حسابات تكون النوى بحيث تعطى قيمة لـ ى لا تتجاوز ٠,١.

هـ.هـ. 2 وأكثر البدائل ترجيحاً من بين المواد غير الباريونية: النيوتريونات أو جسيمات المادة المعتمدة الباردة.



شكل (١٧)

تبين اللوحة اليمنى خطوط الكثافة density contours لتوزيع المجرات الذى رصده القمر الصناعى IRAS (Infrared astronomy satellite) وذلك فى حيز يمتد حتى سرعات هابل تباعدية (طبقاً لقاعدة هابل) تبلغ ٥٠٠٠ كيلومتر/ ثانية (وهو $1/2$ للنطلق المبين فى شكل ١) والخطوط فى اللوحة اليسرى توضح كثافة المادة التى تلزم لتوليد وإحداث الانحراف عن تنفق هابل وكما تحده أرصاؤنا. ويشير التماثل الواضح بين خريطتى توزيع خطوط الكثافة أن المجرات بمثابة راسمات للتوزيع الإجمالى للكتل. وهو بالمثل يدعم ويرسخ من تقنا فى الوجود الفعلى لسرعات انسيابية على المقياس الكبير أكثر من اعتقادنا فى كونها ظواهر متولده من تأثيرات بيئية على المقياس الكبير (الكونى) على المؤشرات البعيدة.

وتقدم هذه التحركات الدليل الديناميكي الفعلي الأول على وجود كثافة كونية متوسطة تقارب القيمة الحرجة (عند $y = 1$) (من مقال ديكيل وآخرين - مجلة الفيزياء الفلكية - العدد ٤١٢ - ١)

وما نحتاجه حقا هو بعض التقنيات لتوصيف ووضع مخطط لتوزيع المادة المعتمدة على مستوى العناقيد الفوقية دون أى افتراض ما إذا كانت المجرات هي التى ترسم خرائط توزيع الكتل أو افتراض بعمومية مؤشرات المسافة كونيا واللازمة لتحديد تحركات المجرات المميزة. وإحدى الإمكانيات التى تنفذ حاليا تشمل البحث عن تشوهات فى صور المجرات الخلفية الخافتة لعناقيد عليا ناجمة عن التأثير العدسى (٥٧).

ويطابق هذا الطريقة التى تطبق فعلا بالنسبة للعناقيد (انظر البند ٢ - ٣) على أية حال، لن يكون للعناقيد العليا مثل هذه الكثافة (العمودية) (*) العالية الموجودة فى قلب عنقود غنى، وبالتالي فلن تعطى صوراً مشوهة أو مكبرة بصورة كبيرة. إلا أن القطر الزاوى لعنقود فوقى له إزاحة نحو الأحمر (فلنقل بقيمة ٠,٣) سيكون فى حدود درجة واحدة. وحتى المجرات الخافتة من القدر 10^٠ والتى تقع خلفها ستشارك فى تشوه مرتبط بها. وبالتالي فما من سبيل للبحث عن تشوهات مرتبطة عبر المساحة كلها التى نشاهدها خلال نفس العنقود الفوقى، حتى لو كان الأثر يبلغ فقط جزءاً صغيراً فى المائة.

(*) الكثافة العمودية column density : يقصد بها التعبير عن الكثافة بوصفها دالة للارتفاع فى عمود ما.

٣-٤ الطرق التقليدية لتحديد قيمة المعامل (ى)

٣-٤-١ مؤشرات التباطؤ:

إن أكثر الطرق مباشرة لتقدير المعامل (ى) (واستشعار تأثير المادة المعتمدة حتى وإن تكن متأثرة عبر الفضاء فيما بين المجرات) هو أن نسبر تأثيراتها على انحناء الكون وديناميكياته بأكمله.

وقد كان قياس مؤشر التباطؤ $q = - \text{نق نق}'' \div (\text{نق})'$ هدفاً للفلكيين منذ عقد الخمسينيات من القرن العشرين. وهو يساوى $2/3$ في نماذج فريدمان المبسطة لدى ثابت كوني Λ (صفراً) وذلك بمد علاقة هابل التى تربط القدر (اللمعان) بالانزياح للأحمر نحو انزياح أعلى. فمثلاً تجلت التوقعات والنظريات الأساسية حول ذلك بوضوح فى بحث سانداج sandage الكلاسيكى عام ١٩٦١، المعنون "قدرة المرقاب ذى الـ ٢٠٠ بوصة قطراً على التفرقة بين النماذج الكونية المنتقاة". على أنه اعتباراً من السبعينيات، وبوجه خاص من خلال أعمال تتسلى Tensley المرموقة، اتضحت أهمية التصحيحات المستحدثة. وعلاوة على ذلك، تجلت الحاجة إلى فهم أعمق لتاريخ تطور المجرات قبل تقييمها كمياً. فالمجرات التى نشاهدها على أبعاد سحيقة - أصغر عمراً من تلك القريبة منا وفقاً لنسق متسق. وحتى إذا كان نوع بعينه من المجرات (على سبيل المثال ألمع المجرات فى العنقود المجرى) يمثل قدرة شمعية قياسية^(*) ما فى الزمن الراهن، فالمرء يحتاج لمعرفة كيف تتغير كل شمعة لدى احتراقها. والمجرات ذات الأهمية الحاسمة فى اختبار اتنا الكونية هى تلك التى بدأ ضوءها فى الرحيل صوبنا منذ ٥ - ١٠ بليون عام، وهى التى نشاهدها وهى فى أقل من نصف عمرها الحالى.

(*) القدرة الشمعية هى معيار لشدة استضاءة النجم، والقدرة الشمعية القياسية Standard candle هى قدرة جرم فضائى معلوم اللمعان يتخذ كوسيلة لتحديد الأبعاد باستعمال قانون التربيع العكسى بين البعد واللمعان الظاهرى. (المترجم)

وفى مجرة إهليلجية صغيرة السن، سنرى الكثير من النجوم المتألقة، وهى فى الواقع قد لقيت حتفها، فنحن نشاهد كل النجوم حاليا كما كانت تبدو فى مراحل أكثر تبكيرا من رحلة تطورها، ذلك التطور الذى يبذل من لمعانها ولونها. ويشير الاتجاه العام إلى أن المجرات الأحدث عمرا، هى الأكثر لمعانا وزرقة، ويعتمد التأثير - من الناحية الكمية على توزيع كتلة النجم وتاريخ تكوينه. إلا أن هناك تأثيرا تطوريا ثانويا، ينبع من حقيقة أن المجرة ليست بالمنظومة المنعزلة المقتصرة على نفسها، فنحن نشاهد كثيرا من الأمثلة تبدو فيها المجرات متصائمة أو آخذة فى الاندماج مع غيرها. وفى العناقيد المجرية الثرية بالنجوم ربما تلتهم المجرات المركزية العملاقة جيرانها الأضال حجما (ولعل مثل ذلك قد حدث - عرضا - فى خلال بضعة بلايين من السنين فى مجموعتنا المجرية المحلية، فمجرة أندروميدا أو المرأة المسلسلة تهوى نحو مجرتنا الطريق اللبنى، وربما يحدث اصطدام بين هاتين المجرتين القرصيتين الهائلتين، ومن المرجح أن يتخلف عن هذا الاصطدام ثل أو كومة منتفخة هلامية غير محددة المعالم من النجوم، لها شكل المجرة الإهليلجية). ولعل العديد من المجرات الضخمة - وعلى نحو خالص فى مراكز العناقيد المجرية ستبرز للوجود نتيجة هذه الاندماجات. ومن الواضح أنه سينجم عن هذه العملية مجرات عظيمة كانت - فى المتوسط - أكثر خفوتا فى الماضى.

من هنا فإن هناك أثرين متعاكسين لتطور المجرات - وكلاهما غير مؤكد - وقد يكون أحدهما كبيرا كبيرا كافيا، كى يخفى الفارق بين كون تصل فيه قيمة Q إلى 0.1 (أى تصل فيه قيمة Q إلى 0.2) وآخر تبلغ فيه Q 0.5 (أى تبلغ فيه Q الواحد الصحيح). والأبحاث الحديثة والقائمة على سبيل المثال على نموذج (المادة المعتمدة الباردة) النظرى تقرر ما بين هذين التأثيرين: النمو التسلسلى الهرمى للمجرات، وانفجار جديد من تكون نجوم تولد بعد كل واقعة اندماج^(٥٨).

ولا يساعدنا كثيرا فى تحديد قيمة Q التقدم الهائل مؤخرا فى مسح المجرات نحو نطاق أشمل من الانزياح للأحمر (وإن يكن هذا التقدم مصيريا فى فهمنا

لفيزيائيات المجرات الفلكية). فتأثير التطور في المجرات ذو أثر أكبر. وتأثير التطور على أشباه النجوم وما شاكلها ما زالت حدوده غير مؤكدة (انظر الباب الرابع). وترتبط ظاهرتا تطور المجرات وتمدد الكون برباط وثيق، بحيث يظل الأمل ضئيلا في صلاحية استعمال المجرات باعتبارها أدوات اختبار لهندسة الكون حتى يتعمق استيعابنا للفيزياء الفلكية إلى الحد الكافي.

لقد عادت النقاط التالية مؤخرا إلى بؤرة الاهتمام (بل وحتى إلى دائرة التفاؤل) بخصوص عمليات استشعار البناء الهندسي للكون والتي تتجاوز مرحلة عدم اليقين فيما يختص بتطور المجرات:

أ- المستعرات العظمى من النوع الأول: التي توقتها قنبلة نووية حرارية تتفجر عندما يدفع نجم محتضر بغثة فوق حد شاندراسيخار^(*) للكتلة الحرجة، يمكن استشعارها بصورة روتينية^(٥٩) عند قيمة z تساوى أو تزيد عن ٠,٥ وليس ثمة ما يدعونا إلى توقع أن تتوقف خواصها النمطية على الحقبة من عمر الكون. لذا، فإذا كانت هذه المستعرات ذات قيمة شمعية كافية فإنها تقدم إمكانية لاختبار قيمة (ق). ويلوح ذلك الآن أكثر الوسائل الواعدة لاتباع الاختبارات الكونية الكلاسيكية. وتبدو البيانات المبدئية متعارضة مع القيمة (ق) $= 1/2$. فهذه البيانات تشير حقا إلى تسارع إذا تأكد وجوده فإن ذلك يستدعي قيمة للثابت الكوني (أ) لا تساوى الصفر.

ب- الانبعاث الإذاعي من المصادر الراديوية القوية (والتي كان رايل هو أول من درسها (ارجع لبند ١ - ٣) يفد من فصوص أو نتوءات تحتوى على بلازما^(*) (طبقا للنظرية النسبية) ومجالات مغناطيسية تقع عامة بصورة بصرية

(*) يحدد حد شاندراسيخار Chandrasekhar limit تطور النجم طبقا لكتلته، فإذا زادت كتلة النجم عن كتلة حرجة (١,٤ أو ١,٥ من كتلة الشمس) فليس بوسعها مقاومة جاذبيتها الذاتية وينتهى في تطوره إلى ثقب أسود، وإذا قلت عن ذلك فإنه يتوقف في النهاية عن التقلص ليستقر على صورة قزم أبيض. (المترجم)

(*) البلازما صورة تتخذها المادة عند درجات الحرارة بالغة الارتفاع، هي وسط بين المادة والإشعاع.

متماثلة على كلا جانبي المجرة والتي يمكن قياس قيمتها مقدرة بالدرجات بسهولة. والمصادر الممتدة كثيرا ما تتأثر دون ريب بالوسط الخارجي. وهذا الوسط نفسه يتطور بطريقة غير معروفة على وجه اليقين وبالتالي فهو يدخل نفس عوامل اللابقيين في عمليات التطور لدى دراسة المجرات والعناقيد المجرية. وهناك القليل مما يستدعي أن نتوقع اعتماد خواص الأجرام المدمجة النمطية compact components التي تقع هناك عميقا داخل المجرات النشطة، على الحقبة الكونية. وتدعم الدراسات الأولية مبدئيا قيمة للمعامل (ق) تساوي النصف (أي قيمة الواحد الصحيح للمعامل ي)، إلا أن البرهان المستمد من ذلك لا يرقى إلى مستوى البرهان المستمد من المستعرات العظمى.

ج- هناك احتمالية أن يكون للكوازارات ذات قيمة ز عالية تأثير عدسي جذبوي يعتمد على طول المسار (وبالتعبير الفني مسافة المقاربة^(*) affine distance، وبالتالي على صورة العلاقة بين م، ن أي المعامل م باعتباره دالة في الزمن. وأقل من ١% من حتى أعلى الكوازارات انزياحا صوب الأحمر تظهر صوراً متعددة، تفصل ما بينها بضع ثوان قوسية، وهو ملمح مميز للتأثير العدسي الحادث بفعل مجرة متداخلة، ويتربط هذا مع التقديرات البسيطة المقامة على أساس النماذج الكونية القياسية. على أية حال، إذا أتاحت القيمة غير الصفرية للثابت الكوني (أ)^(**) عمرا للكون أطول من مقلوب ثابت هابل، فإن مسافة المقاربة إلى الكوازارات ذات قيمة ز العالية من شأنها أن تكون أكبر من قيمها المعطاة بالكونيات القياسية. وستعمل المجرات المتداخلة بصورة أكثر كفاءة - بوصفها مصدرا للتأثير العدسي، وتخلق صوراً متعددة أكثر، ذات فواصل زاوية أكبر مما يرصد^(٦١). ويأتي

(*) التحويل الأفيني affine transformation : هو تبديل في العلاقات الهندسية: تحويل خطي

تتبعه إزاحة مع الاحتفاظ بالعلاقة النسبية بين النقاط. (المترجم)

(**) الثابت الكوني cosmological constant: هو اصطلاح رياضي أدخله أينشتاين في معادلات

نظرية النسبية العامة للحصول على حل لها يلائم حالة الكون الاستاتيكي - تراجع أينشتاين

عن هذا الرأي بعد أن ثبت بالدليل القاطع تمدد الكون. (المترجم)

اللايقين هنا نتيجة إمكانية تطور في نفس المجرات التي تحدث التأثير العدسي، إلا أن هذه الطريقة ربما كانت بها الدقة الكافية لتحديد من النماذج النظرية ذات القيم العالية للمعامل (أ).

٣ - ٤ - ٢ ثابت هابل:

تتواصل الجهود الدعوية للاستقرار على مقياس كوني للمسافات، وعلى تحديد قيمة "ثابت هابل" هـ والذي اصطلحنا عليه كدالة باسم ٥٠ هـ. كم/ ثانية لكل ميجابارسك. ويخرج استعراض هذه الجهود عن إطار محاضراتنا هذه^(٦٢). وحسبنا هنا أن نذكر أن تقدماً عظيماً قد تم إحرازه منذ ذلك الحين، إذ لاح نوع من التقارب أو التصالح بين المنافحين عن قيمة هـ. ~ ١ وهو لاء أنصار تحديد هـ. بالقيمة حوالي ٢. ورغم أن هذا العدد ذا الأهمية القصوى لا يتخطى مستوى الدقة في تحديده أكثر من ٢٠%، فإن القيمة هـ. ~ ١,٣ تقع داخل نطاق الخطأ المسموح به في معظم التقديرات^(٦٢). على كل حال فمن يمن الطالع أن مشاكل تحديد قيمة هـ.، قد تم فصلها - على الأقل بصورة جزئية - عن المشاكل المرتبطة بقياس المعاملين (ق)، (ب). وعندما نقيم الكتل على أساس من مبرهنة التقويم^(*) virial theorem، أو على أساس الحركات الانسيابية على المقياس الكبير، فإن الاستدلال على قيمة المعامل أوميغا (ي) لا يتوقف على مقدار هـ. وما يستدل عليه مما يسهم به في (ي) من انتشار الغاز في التجمعات بالمناطق فيما بين المجرات يميل إلى الارتفاع مع انخفاض هـ. وذلك رغم أن العلاقة الدقيقة بينهما تتوقف على العملية الفيزيائية محل الدراسة.

(*) مبرهنة حركة المقومات virial theorem: هي طريقة في حساب الكتلة الإجمالية لقنو من المحزرات من خلال سرعة تحرك المجرات المفردة فيه، وهي تؤيد ما يستنتج من احتواء المجرات على ١٠ أمثال ما نشاهده منها. (المترجم)

وتعود حساسية وأهمية إدخال هـ.ه في القضية المطروحة هنا إلى نقطتين:

(أ) عمر الكون لدى قيمة معينة للمعامل (ي)، يتناسب مع قيمة هـ.ه^{-١}، وتقديرات الفيزياء الفلكية لأعمار النجوم تحد الفضاء البارامترى للنماذج المقبولة تحديدا أكثر صرامة عند قيم هـ.ه العالية. فمثلا إذا كانت هـ.ه أكبر من حوالى ١٤، فمن الصعوبة بمكان أن تعثر على تعضيد لنموذج آينشتاين - دي سيتر القياسى حيث (ي)=١، وحيث يكون الزمن منذ حدوث الانفجار العظيم ثلثي زمن هابل فقط.

(ب) إن عمليات التكون النووى nucleosynthesis الأولية تتوقف على كثافة الباريونات عندما كان الكون آخذا في الابتعاد بين درجتى ١٠^{١٠}، ١٠^{١٠} على مقياس كلفن، وبالتالي فهي تتوقف ببساطة على نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت). وعلى هذا فالحد الأعلى للقيمة (ي) بالتبعية يتغير تبعا لقيمة هـ.ه^{-٢}. فإذا كانت هـ.ه مرتفعة فقد يهبط هذا الحد الأعلى بحيث لا يتوافق مع تقديرات قيمة ي ب والتي تعتمد على أرصاد عناقيد المجرات والغاز فيما بين المجرات.

لهذين السببين لن يشعر علماء الكونيات بالارتياح، بل سيشعرون بالقيود إذا كانت التقديرات التى تأتى بها الأرصاد، مع اطراد تقدمها تتحو نحو النهاية العظمى من نطاق القيم التى هم الآن بصدد الدفاع عنها.

٣.٥ مفاتيح للحل توفرها لنا خلفية الموجات فائقة الصغر:

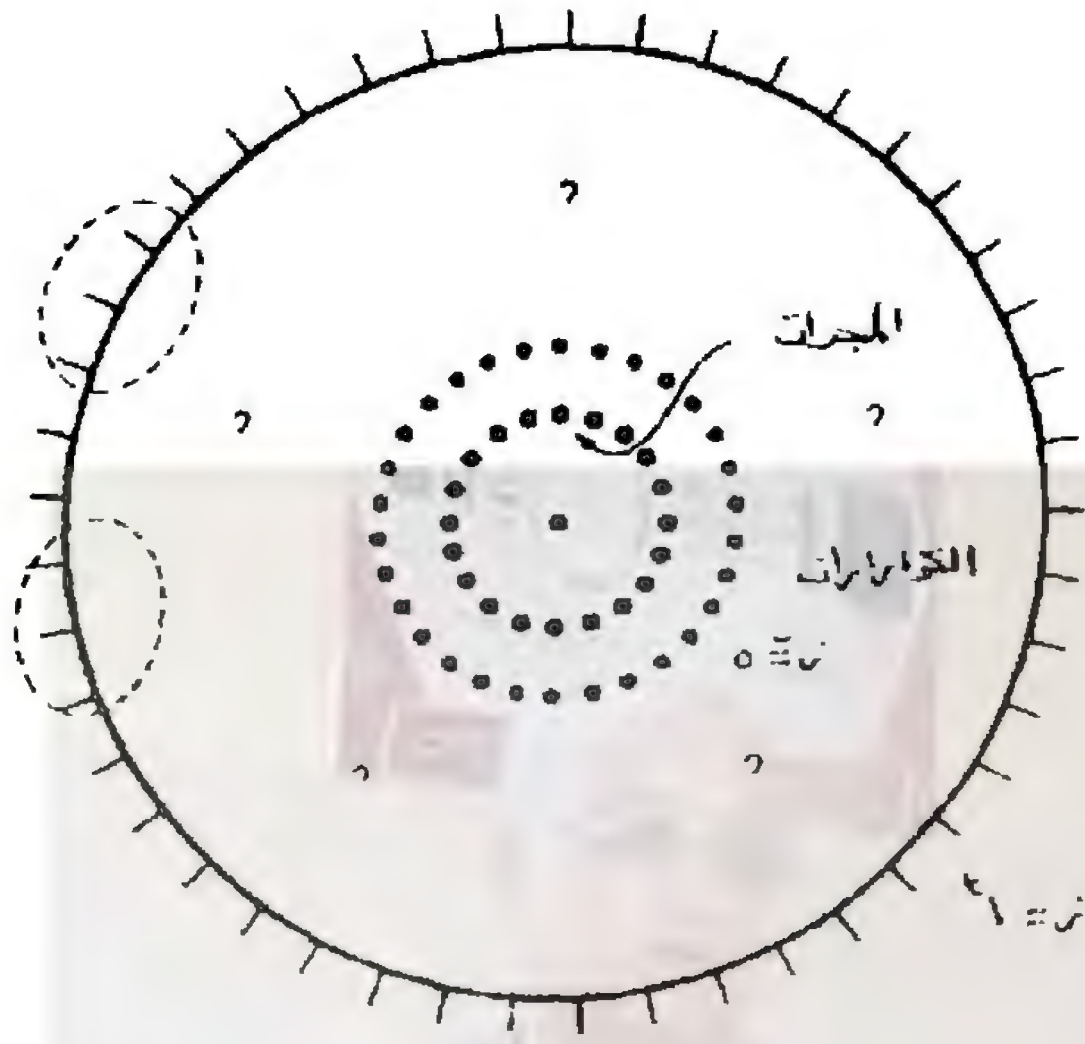
إن التذبذبات الأولية، والتى كانت طابع الكون المبكر، لا يمكن عن طريقها التعرف على أية خصوصية تتميز بها كتلة المجرة. ودرجة التجانس الإجمالية المرصودة للكون تستوجب أن تهبط القيمة $(\frac{\Delta \theta}{\theta})$ نحو مقاييس أكبر، وإن استمر توقعنا لوجود تذبذبات قائما. وفى الواقع فهناك حدسية طبيعية، تعود إلى "هاريسون" وزيلدوفيتش^٢ فى الأصل، بأن التذبذبات المترية (أو الوضعية) ض

هى على كل المقاييس^(*). فلو أن الاضطرابات قد تعاظمت دون أن يعترضها عائق من ضغط أو لزوجة أو غيرهما، وظلت فى ازديادها مرتبطة بعلاقة خطية، لاتخذ طيف محصلة تنبذبات الكثافة شكل العلاقة $\frac{\Delta}{\theta}$ تتناسب مع $k - \frac{1}{2}$ (شكل ١٤).

وتأتينا مجموعة مهمة من الشواهد على الطبيعة الخطية للتنبذبات وخصوصا تلك التى على المقياس الكبير، من التوزيع الزاوى من خلفية الموجات فائقة الصغر microwave background. فعندما نتطلع بعيدا بعيدا.. إلى ما خلف الكوازارات حيث يتجاوز مؤشر الانزياح الطيفى (ز) بكثير الرقم ٥، فإننا نتحسس طريقنا صوب حقبة قبل أن تكون أية تكوينات غير خطية قد تكثفت بعد. ويأتى الإشعاع الخلفى من الموجات فائقة الصغر من مناطق يبلغ المؤشر (ز) فيها القيمة ١٠٠٠. إن طابع عدم التجانس على المقياس الكبير والذي كان موجودا سلفا فى تلك الحقبة من شأنه أن يحدث بالإشعاع الخلفى شيئا من عدم الانتظام اليسير عبر السماء: فالفوتونات التى يعود أصلها إلى عنقود فوقى أولى، يمتد فى غير ما انتظام فوق آخر سطح للتبعثر^(**)، من شأنها أن تعاني من انزياح جذبوى إضافى ناحية الأحمر، فتتسلق خارجة من بئر (مجال) الوضع، ومن ثم تظهر أبرد - إلى حد ما - من تلك التى تبرز من فراغ أولى (انظر شكل ١٨).

(*) تفترض حدسية هاريسون وزيلدوفيتش أن الطيف الناجم عن الاضطرابات فى توزيع المادة فى الكون المبكر الأول أصبح فيما بعد بالتكوين الذى نرصده الآن.

(**) آخر سطح للتبعثر: هو سطح قشرة كروية تخيلية يحيط بالراصد نصف قطره يعاوى المسافة التى قطعها الفوتون منذ آخر تشتت له لدى مرحلة عودة الاندماج. (المترجم)



شكل (١٨)

يصور هذا الرسم سطوح انزياح مختلفة صوب الأحمر، بالنظر للوراء نحو مخروط الضوء الماضي^(*). يناظر النطاق $5 \geq z \geq 10$ الحقبة الزمنية $10 \geq t \geq 1$ سنة. والاستدلال الإضافي على هذا النطاق سيساعد على التمييز بين سيناريوهات تكون المجرات المبينة بشكل (١٣). وعدم التجانس في المجال الجذبوى الذى يمتد على جانبي سطح التبعثر الأخير عند القيمة $z = 1000$. ومن شأن العناقيد المجرية الأولية أو الفراغات الأولية (بين المجرات) أن تحدث تكويناً زاوياً فى درجة حرارة خلفية الموجات متناهية الصغر بحيث تكون $\frac{1}{100}$ فى حدود ض (سعةذبذب تذبذب الانحناء) (وعلى مقاييس زاوية أصغر لا بد وأنه كان هناك إسهام من ظاهرة دوبلر فى $\frac{1}{100}$ ، ومع الزوايا الصغيرة ربما ضعفت قيمة بتحول الكون التدريجى فقط من العتامة إلى الشفافية، ومن ثم لا يكون هناك حد قاطع لسطح التشتت بصورة تامة).

(*) المخروط الضوئى light cone: هو حيز من الزمان - المكان (الزمكان) يحدد الاتجاهات المحتملة لأشعة الضوء التى نمر عبر حدث معين. (المترحم)

والتكهن الأكثر قوة بالنسبة للأكوان الانتفاخية هو أن $U = 1$. وعلى كل، فهذه الأكوان تقودنا إلى توقع أن تكون التذبذبات حقا مقاربة لطيف "هاريسون - زيلدوفيتش (الذى لا يتوقف على المقياس) فالتذبذبات في الانحناء والمكافئة للتذبذبات في المجال الجذبوى، يجب أن توجد بنفس سعة الذبذبة تقريبا لدى كل المقاييس. ويتطلب هذا أن يكون هناك رقم كوني (سحرى) للسعة ض، مرتبط باضطرابات الكثافة لدى عودة الاندماج، بمعادلة بسيطة. وأضخم آبار مجالات جذبوية في الكون الحالى هي تلك الموجودة بعناقيد المجرات الغنية، والتي تصل السرعات المقومة (ع ق) فيها لحدود ١٠٠٠ كيلومتر في الثانية. والمجال المناظر غير ذى الأبعاد يساوى (ع ق ÷ س) $^{(*)2} = 10^{-5}$ ، ويشير هذا إلى أنه إذا كانت التذبذبات الطولية هي حقا لدى كل المقاييس فإن للمعامل ض تقريبا هذه القيمة $^{(٦٢)}$.

ولو لم تكن هذه التذبذبات موجودة سلفا خلال حبة عودة الاندماج بسعة ذبذبة $= 10^{-5}$ ، فلا بد وأن قوى ما ذات كفاءة أعلى من كفاءة الجاذبية احتيجت، كي تجذب عناقيد المجرات وما فوق العناقيد وتضمها معا فى وقتنا الحالى. وبالتبعية كان هناك منذ سبعينيات القرن العشرين حافز قوى للبحث عن (بصمات) لهذه التذبذبات فى خلفية الموجات فائقة الصغر، سيبدو الإشعاع من عنقود أولى على سطح آخر تبعثر أبرد قليلا، إذ يتوجب عليه أن يتسلق جدار (بئر المجال). وقد وضعت باطراد - قيم أعلى للحدود القصوى من خلال تجارب متنوعة. وقد تحققت أولى النتائج الإيجابية عام ١٩٩٢ من تجارب المقياس الراديوى لفروق الموجات فائقة الصغر $^{(**)} \text{DMR}$ على القمر الصناعى COBE $^{(*)}$. وقد أثمرت هذه التجارب على مدار ٤ سنوات أكادسا من البيانات، وحددت قيمة للمعامل ض لا يشوبها - نسبيا - الغموض، بمقدار يقع داخل نطاق التوقع $^{(٦٢)}$. وقد كفلت برهانا مباشرا على تذبذبات على المقياس الكبير، لا بد وأن يعود أصلها إلى الكون المبكر للغاية (انظر الباب السادس).

$^{(*)}$ ع ق هي السرعة المقومة virial velocity. (المترجم)

$^{(**)}$ اصطلاح DMR هو اختصار differential microwave radiometer (المترجم)

لقد أعطت البيانات من القمر الصناعي COBE على المقياس الزاوى سبع درجات وأكثر، وهو ما يناظر مقياس خطية حاليا تتخطى ٥٠٠ هـ.م. ميجابارسك (لدى $y=1$). ولاستشعار (الأسلاف العلويين) للعناقيد المجرية وما فوق العناقيد نلزمنا قياسات بتكبيرات زاوية مقدارها نحو الدرجة أو أقل. وتتسم الفيزيائيات المرتبطة بهذه التذبذبات ذات المقياس الصغير - نوعا ما - بالتعقيد، فدرجة الحرارة لا تتأثر بالجانبية فقط كما هو الحال فى المقاييس الكبيرة، بل تهيمن على التذبذبات مركبات دوبلر ومركبات صوتية بسبب السرعات التى تولدها الجاذبية، وبالانحدارات المتدرجة فى الضغط الإشعاعى. وتقتصر هذه المؤثرات الإضافية على المقاييس الأصغر من الأفق السببى^(*) causal horizon. وهذا المقياس (وهو جوهريا - ذو طول صحيح يبلغ عددا من المرات قدر عمر الكون لدى إعادة الاندماج) يناظر مقياسا زاوياً قدره $(2/y)$ درجة. وتوقف هذه الزاوية على المعامل (y). يعنى أن قياسات تذبذبات درجة الحرارة تمثل اختباراً كونياً له طرافته.

وتعتمد التذبذبات المتوقعة عند هذه المقادير الزاوية الصغيرة، على شكل التذبذبات وعلى الإسهامات النسبية للباريونات والمادة المعتمدة فى المعامل (y). وتزداد درجة تعقد اعتمادها على (y) لدى المقادير الزاوية الصغيرة (و) (أو بعبارة أخرى على هارمونيّات (توافقات) كروية أعلى ر). ومن المتوقع أن تحدث قمة فى تأثير دوبلر^(**) فى $\frac{\Delta}{r}$ عند زاوية مقدارها نحو الدرجة الواحدة (لدى $y=1$) وزاوية أقل مع انخفاض (y). ولدى نطاقات أصغر من الزوايا يزداد تعقد التوقف على المقدار (و) (أو على ر). وإذا قلت الزاوية عن ١٠ دقائق قوسية (والزاوية الحقيقية تتوقف على y والمتغيرات الأخرى)، ضعفت التذبذبات لأن

(*) أى النطاق الذى توجد فى داخله علاقة سببية. (المترجم)

(**) يعنى تأثير دوبلر انزياح الطيف نحو الأحمر فى حالة تباعد الأجرام، ونحو الأزرق فى حالة تقاربها.

عودة الاندماج، وبالتبعية انفصال الفوتونات عن الباريونات - عملية تدريجية، وبعبارة أخرى يحدث "التشتت الأخير" على سطح هو ذاته مشوش غائم.

إذا كان لأول قمة دوبلرية مقياس في حدود درجة واحدة فسيعارض هذا مع قيمة منخفضة للمعامل (ي)، إذ لو أن (ي) تقل - مثلاً - عن ١.٠ أو تصل لها فإن الأفق السببي سيحد من التأثيرات الصوتية ويقصرها على نطاق زاوى يقل كثيراً عن درجة واحدة.

وقد حسبت التكهّنات التفصيلية بالتذبذب المتوقع في درجة الحرارة عبر هذا النطاق الطريف من الزاوية، طبقاً لطائفة من الافتراضات للتذبذبات الابتدائية، والمادة القائمة والمعامل ي، ي ب، ولو أننا ملمون حقاً بمقايير الإسهام في سعة هذه التذبذبات لدى كل مقياس زاوى (أى لكل توافق كروى) فسيوضح الكثير من الأرقام الكونية ذات الدلالة. وقد حفز هذا التحقق مجموعات عمل عديدة لاستكمال بيانات القمر COBE، بإجراء تجارب مع دقة أكبر في قياسات الزوايا. ولقد أجريت بالفعل أكثر من عشر عمليات قياس من على سطح الأرض أو من بالونات بالفضاء. وتغطى هذه القياسات منطقة صغيرة من السماء فحسب، وهى بطبيعة الحال عرضة لضوضاء أو تشويش إضافى آت من جو الأرض. على أية حال فيبدو أنه قد توفر دليل كاف على وجود "قمة دوبلرية" عند زاوية ١ - ٢ درجة، وهو ما يطرح مشكلات عن كون ذى معامل ي منخفض. (وهناك اشتراط مهم على كل حال، وهو أن هذه التقنية تستشعر درجة تسطح الكون وبالتالى تشمل أية إسهامات من الفراغ نفسه (أى ثابت أينشتاين الكونى أ) ومن جهة أخرى يتسبب الثابت أ فى تسارع أكثر من تسببه فى تباطؤ. ومن ثم فمن الممكن التوفيق ما بين زاوية كبيرة لقمة دوبلر مع كثافة منخفضة للمادة المعتمدة (وتباطؤ صغير، بل حتى تسارع فى التمدد الكونى) بافتراض أن معظم الطاقة التى تؤدى إلى تسطح الكون هى فى الفراغ.

وستأتى الطفرة التالية إلى الأمام مع إطلاق مركبة الفضاء MAP التابعة لوكالة ناسا فى عام ٢٠٠٠، وجهاز مسح بلانك التابع لـ ESA^(٥) بعدها ببضع سنوات، وهو ما نأمل فى أن يحقق التفريق الزاوى اللازم، مع تغطية لكل السماء، شأنه شأن القمر COBE.

وينبغى أن ينظر إلى النتائج التى جلبها القمر COBE بوصفها خطوة حيوية فى برنامج عمل دائم نحو تطوير وتحسين التقنيات، بما يشمل عدة مجموعات عمل. وبمقدورنا أن نتصور أن الكون المبكر كان ناعما سلسا كما سطح المحيط. صحيح أن هناك انحناءات وتموجات وتذبذبات، ولكنك إذا نظرت من الجو إلى المحيط، فقد يبدو لك للوهلة الأولى صقيلا مثاليا فى استوائه. ولكن إذا أمعنت النظر، فستبدأ فى تبيين بعض الموجات. وباطراد تحسن ملاحظتك قليلا، بوسعك أن تدرس الموجات فى إحصاء تفصيلي. هل للموجات شكل توزيع جاوس؟ ما علاقة مدى تذبذبها بالمقياس؟ وهذا تعبير مجازى عن المرحلة المثيرة التى نحن بصدد ولوجها الآن فى دراستنا لخلفية الأشعة متناهية الصغر.

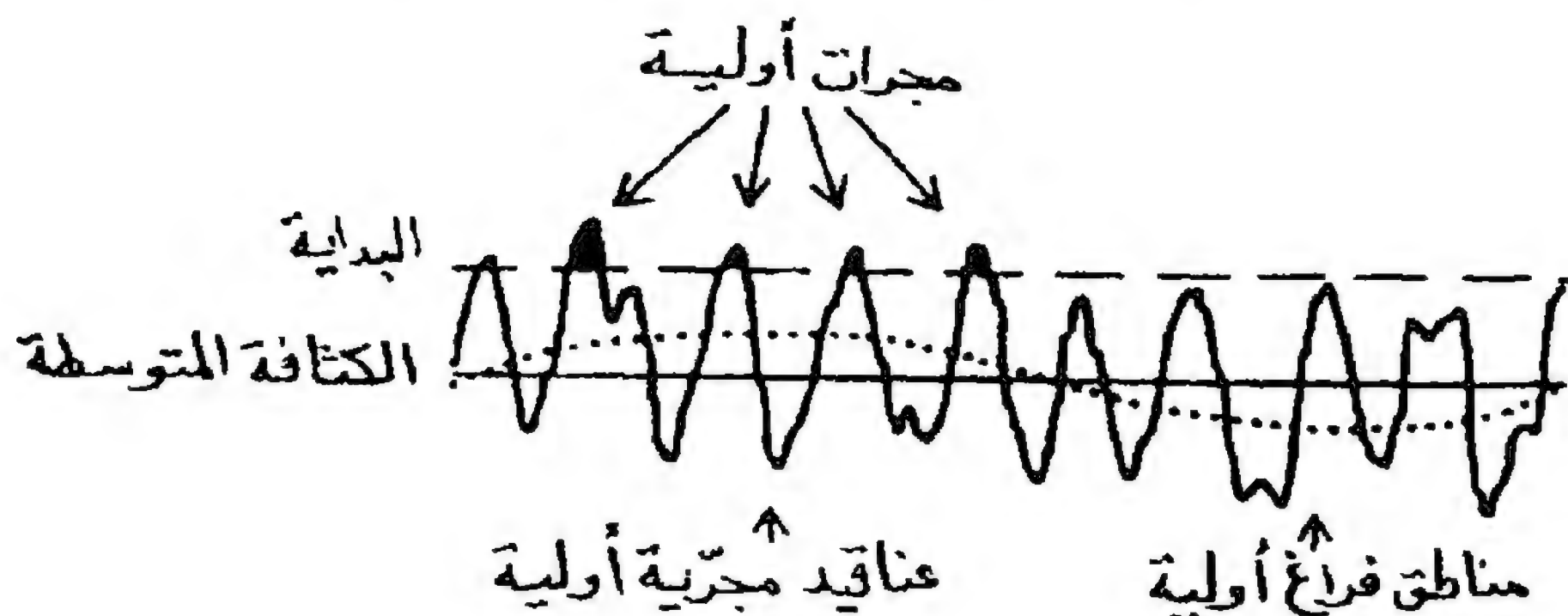
٣.٦ دور المكون الباريونى فى تبديد الطاقة:

فى الكون الآخذ فى التمدد، تهيمن المادة المعتمدة على التجمع فى عناقيد بتأثير الجاذبية وتعتمد محصلة ذلك على شكل التذبذبات الأولية وكذلك على قيمة (ى) المفترضة. ومن ناحية المبدأ يمكن نمذجة توزيع الكتلة فى المنظومات المقومة والمنعزلة من خلال المحاكاة النونية N-body simulations، بادئين من اضطرابات خطية معينة بعد لحظة عودة الاندماج مباشرة (قارن بشكل ١٣)، ولكن حتى لو تم وضع نموذج سليم لتجمع المادة المعتمدة تجمعا لا يعثره تشتت فإن مصير الجزء الباريونى - كم من الغاز يسقط داخل كل بئر مجال، وكم منه

(٥) صدر الكتاب عام ٢٠٠٠، قبل إطلاق مركبة الفضاء MAP فعلا فى ٢٠٠١/٦/٣٠ من فلوريدا، وجهاز مسح بلانك فى ٢٠٠٩/٥/١٤ من جيانا الفرنسية. (المترجم)

سيُحتفظ به - يشمل ديناميكيات غازية معقدة. ولكي نتكهن بما ستصبح عليه هيئة الكون - من حيث درجة لمعان المجرات وكيفية تجمعها في عناقيد - يلزمنا أن نستوعب سلوك الباريونات. فهي تحت تأثير مؤثرات فيزيائية عديدة - بخلاف الجاذبية. ومن شأن الباريونات أن تستقر في هالات مقومة virialised من المادة المعتمدة في نطاق كتلي ما بين 10^4 إلى 10^{12} ك^٢ م^٢: وللكتل الأعلى من ذلك، لن يتسم أثر التبريد في تبديد الطاقة بالكفاءة للسبب الذي سلف ذكره (قارن بشكل ٨). وآبار المجال عند قيم كتلة أقل من 10^4 ك^٢ م^٢ قد تكون أقل عمقا من أن تحبس الغاز الأولى وتحتفظ به.

وهناك علل فيزيائية تدفعنا إلى أن نتوقع اعتماد عملية تكون مجرة ساطعة - بدقة فائقة - على عمق آبار مجال طاقة الهالة مثلا. ومن شأن المجرات البراقة أن تتجمهر بصورة أكبر من الكتلة^(٦٠) لنفس السبب الذي من أجله تأتي أعلى الموجات - عند تموج سطح المحيط - في شكل جماعات: ويرتفع احتمال حدوث موجات ذات ارتفاع استثنائي إذا هي جمعت في شكل تذبذبات موجبة على المقياس الكبير (تجمع عنقودي ابتدائي أكثر منها فراغا ابتدائيا) (شكل ١٩).



شكل (١٩)

إذا تكونت المجرات - بصورة تفضيلية - من قمم ذات سعات ذبذبات استثنائية في ارتفاعها في مجال كثافة ذي توزيع جرسى، فإنها تعزز الاتجاه نحو التجمع العنقودى (أو الانحياز)، لأن احتمال حدوث قمة عالية سريع التأثير جدا بما إذا كان هناك إسهام إيجابى، أو لم يكن من الموجات الأطول فى سعة الذبذبة.

ودرجة الانحياز biasing لها أهميتها فى تقدير المعامل (ى) من الانسياب على المقياس الكبير (معادلة ١). على أن الانحياز ليس مجرد ابتكار - فى هذه الحالة - يسهل التوفيق بين النموذج الجذاب (حيث $y=1$) مع الألة الواضحة التى تعارضه. وهناك أسباب كافية للشك فيما إذا كانت المجرات البراقة تتبع بالضبط نفس هيئة التوزيع الكلية للكتلة ^(٦٥). على أية حال يتضمن الموضوع فيزيائيات معقدة بحيث لا نستطيع واقعا أن نتوقع مدى كفاءة عملية تكون المجرة، فى جميع المواضيع وعلى كل المقاييس بحيث يمكن توصيفها بمعامل حيود مفرد (ب) وسيعتمد الحيود على نوع المجرة وعلى جيب تمام الحقبة الكونية كذلك.

٣-٧ هل هناك فرضية بسيطة تتوافق مع كل المعطيات (البيانات)؟

إذا كانت قيمة (ى) معروفة، وكذلك سعة الذبذبة ض وطبيعة المادة القائمة، فإن تطور التذبذبات فى النموذج regime اللاخطى يمكن تتبعه رقميا. والهدف هو اختبار ما إذا كان توزيع المادة المعتمدة حاليًا متوافقًا مع ما نرصده ونستدل عليه على مقياس المجرات، والعناقيد وما فوق العناقيد - فى ظل الافتراضات الطبيعية للذبذبات الابتدائية.

وهناك إجماع عام على أن النموذج النظرى الذى يتضمن مادة معتمدة حارة صرفة - وبعبارة أخرى نيوترينوهات فقط - لا يتوافق مع البيانات الحالية ^(٦٦). وما هو ادعى للنقاش حوله، أى من النماذج النظرية - الأخرى يحقق توافقا كافيا. والصعوبة الرئيسية فى مواجهة حصيلة هذه الحسابات مع الكون الواقعى هى أنه

- وحتى مؤخرًا - لم تتضمن نماذج المحاكاة حقًا إلا المادة الجاذبية غير المبددة. ومن ثم فإنها تتنبأ بالتوزيع الحالي للمادة المعتمدة. وقد يكون هذا متسقًا في حالة المقاييس الكبيرة، عندما تكون العلاقات لازالت خطية وليس هناك تغير حادث في انفصال الباريونات عن المادة القائمة.

ويمكن أن تتضمن نماذج المحاكاة الآن - وبدرجة كافية من الاعتمادية ديناميكيات الغاز باعتباره طريقة صالحة لنمذجة سلوك الغاز في العناقيد المجرية (وكذلك - وكما يناقش الباب الخامس - السحب الغازية والخيوط على المقياس الأصغر، والتي تعطى ملامح الامتصاص المعقدة في أطياف الكوازارات).

على أن الأمور تصل إلى درجة متناهية في التعقد عند حساب بداية نشأة النجم، مع ما يأتي من تغذية عكسية عن طريق الطاقة الواردة من المستعرات العظمى وما إليها. فتكون الأقراص سريعة الدوران مثل أندروميديا والطريق اللبني (والعناقيد المقومة مثل كوما coma) يتضمن حتى فيزيائيات ذات درجة أعلى من عدم التيقن.

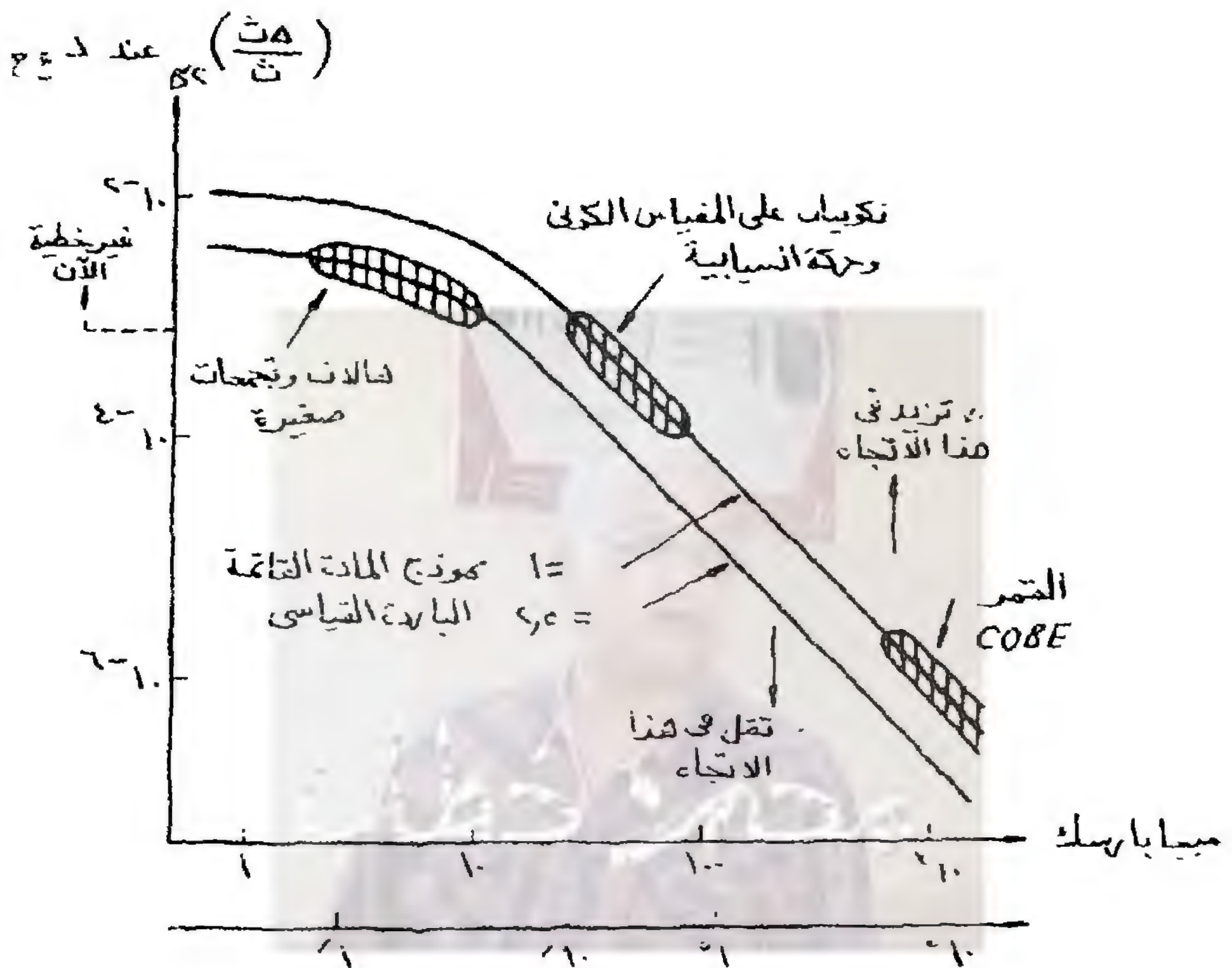
وغالبًا ما تكون الطرز أو النماذج النظرية ذات طبيعة مرحلية انتقالية، إلا أن ما يطلق عليه "نموذج المادة القائمة الباردة CDM القياسي" قد تم بحثه على مدى أكثر من عقد (٤٢، ٤٤ - ٤٦، ٦٧)، وفي خلال ذلك الوقت أفاد بوصفه علامة فارقة للتمييز ومقارنة البيانات. ويوصف هذا النموذج بالتالي:

أ- يغلب على المادة القائمة الوجود في شكل بارد غير تبديدي (مثل الويمبات أو الأكسيونات غير المرئية).

ب- المعامل (ي) يساوي الوحدة.

ج- التنبذات الابتدائية تتبع توزيع جاوس ولها طيف لا يعتمد على المقياس (أي من نوع هاريسون - زيلدوفيتش) ونسبة الباريونات للفوتونات (ت) هي هي في كل مكان.

وعندما تتعدل - بصورة صحيحة - سعة ذبذبة التذبذبات الابتدائية- يفسر لنا نموذج المادة القائمة الباردة القياسي بدرجة مقنعة خواص تلك المجرات وتجمعاتها وعناقيدها. ومن المسلم به أن هذا التوافق لا يتحقق إلا بالاختيار الملائم (وإن لم يكن مقبولا ظاهريا) للمعاملات المتغيرة التي تحكم تكون النجوم^(١٦٧). على أن النجاحات تقدم دعما في ظل ظروف بعينها لفكرة أن المادة القائمة في صورة ويمبات أو أكسيونات. وكما سيلي فيما بعد فالتذبذبات على مقاييس العناقيد الفوقية، وقيمة سعة الذبذبة ض طبقا لفرضية هاريسون زيلدوفيتش، والمستدل عليها من عدم التجانس في خلفية الموجات فائقة الصغر تبدو أكبر، بالنسبة لتلك الحادثة على المقاييس الأصغر، مما هو متوقع بالنسبة لنموذج "المادة القائمة الباردة" القياسي. وإذا قورن بالبيانات المستقبلية، فإن ذلك يقتضي تعديلات على الأقل في واحد من الافتراضات الثلاثة السابقة. على أية حال يمكن أن تشمل التعديلات الافتراضين الثاني والثالث، أو خيارا مفرقا للبارامترات التي تحكم تكون النجم (والتي هي بدورها تحدد معامل الحيود الذي يربط ما بين توزيع المجرة إلى توزيع المادة القائمة. ولا يشكك ذلك بالضرورة في ترشيح الومبات والأكسيونات كمصدر للمادة القائمة. ويقدم نموذج "المادة القائمة الباردة" القياسي قالبا مفيدا لمقارنة نتائج المقاييس المختلفة (انظر شكل ٢٠ وشرحه).



شكل (٢٠)

يوضح المحور الرأسى سعة نبذات التقلبات فى الكثافة لدى حقبة عودة الاندماج (عند $z=1000$). فنموذج المادة القاتمة الباردة CDM والذي لا يعتمد على المقياس (أى من نوع هاريسون-زيلدوفيتش)، يعطى التذبذبات الأصلية فى مقدار الانحناء، كخطوط متصلة. وموقع بالشكل حالتان للتطبيع: تناظران فيما بعينها لمعامل الانحياز (ب). إن قياسات القمر الصناعى COBE على مقياس زاوى يساوى ١٠ درجات أو يتجاوزها، والأدلة على وجود عناقيد مجرية على مقياس كبير وتحركات المجرات، تميل كلها إلى تحبيذ المنحنى العلوى من المنحنيين المبينين، إلا أن المنحنى السفلى يعطى تطابقاً أفضل مع خواص المجرات المنفردة والمجموعات الصغيرة مما نرصده اليوم. وبأخذهما معاً فى الاعتبار يلوح أن

البيانات تقتضى طيفا ذا قوة أقل نسبيا- على المقاييس الصغيرة- من نموذج المادة القاتمة الباردة، إلا أنه من المقنع والمرضى أنه يمكن توفيقه فى حدود معامل ٢، وأن المسألة قد تقدمت إلى مرحلة حيث يمكن أن نميز ما بين النماذج البسيطة، بل وأن نهذبها. ووجود مجرات ذات قيمة (ز) تساوى ٥ تقريبا يضع حدا أدنى ليس موقعا على الرسم) لقيمة $\frac{\Delta\theta}{\theta}$ على مقياس ١ ميجابارسك تقريبا. والمقياس الخطى على المحور الأفقى يناظر قيمة لثابت هابل تساوى ٥٠ كم/ ث لكل ميجابارسك حيث هـ=١

إن سعة الذبذبة المستدل عليها من القمر الصناعى COBE مترابطة بصورة تقريبية مع ما يستدل عليه من التكوينات على المقياس الكبير ومن الانسياب. على أية حال يظهر عدم ترابط عند استقراء طيف له هذا التطبيع وتطبيقه على مقاييس عناقيد المجرات، والمجموعات الصغيرة والهالات المفردة^(٦٨). والبيانات الأخيرة تتوافق مع طيف نموذج المادة القاتمة الباردة، لكن فقط إذا كانت سعة الذبذبة أقل بمعامل مقداره ٢ عما هو مطلوب لتوافق جيد على مقاييس أكبر. ففي الأيام الأولى من تطبيق نموذج المادة القاتمة الباردة، بدا التطبيع على المقياس الصغير أكثر صلاحية للاعتماد عليه. على أية حال، فلدينا الآن تقديرات أفضل للتكوينات على المقياس الكبير، كما أن بحورتنا بيانات أكثر وفرة عن خلفية الموجات متناهية الصغر. ويبدو من الحتمى استنتاج أن طيف المادة القاتمة الباردة القياسى ذو شكل خاطئ. ونحن فى حاجة لشيء ما يتزايد نحو المقاييس الأصغر بمعدل أقل مما يفعل نموذج المادة القاتمة الباردة.

وقد اقترح عدد من الإمكانيات. فقد يكون طيف تذبذبات الانحناء الأصلى قد حاد بحيث يتزايد نحو مقاييس أكبر بالنسبة لطيف هاريسون-زيلدوفيتش^(٦٩). وقد استكشف بعض المؤلفين كيف يمكن أن تعزز السعات على المقياس الكبير بالنسبة للمقاييس الصغيرة إذا كانت لأثقل أنواع النيوترينوهات كتلة تساوى تقريبا ٥ إلكترون فولت، وبالتبعية إذا أسهمت بحوالى ٠,٢ فى قيمة المعامل (٢) ولا تحبذ

لا التجارب على النيوتريـنو، ولا الحسابات التفصيلية عن نشوء التكوينات، هذه الافتراضية. ويبدو أن مجمل إسهامات المادة القائمة في قيمة (ى) لا تتجاوز ٠,٣. ولأن هذا يؤخر حقبة تحقق الاتزان فمن الطبيعي أن يحرف ذلك نقطة الانعكاس في تذبذبات المادة القائمة الباردة نحو مقاييس أكبر إذا كانت $y = 1$ ، ومن ثم يتيح توافقاً أفضل.

ويتعين أن تتوافق نماذج المحاكاة مع البيانات عن العناقيد المجرية في الحقبة الراهنة. وعلى كل حال، عندما يتحقق هذا فهناك اختبار مستقل: هل يتنبأ النموذج بعلاقة كيفية التجمع المجري بقيمة (ز) المرصودة؟ إن هناك اتجاهها عاما في التطور الحديث بأن يكون أكثر انحدارا عند قيم (ى) المرتفعة. فلتقيم (ى) المنخفضة، (سيتجمد) التكوين على المقياس الكبير عندما تقل القيمة $(z+1)$ عن (γ) وبالإمكان الآن - بصريا - استشعار تجمع عناقيد المجرات ذات قيمة (ز) أقل من الوحدة أو من خلال انبعثاتها من الأشعة السينية.

وهناك برهان ساطع على أن تجمعات العناقيد في توزيع متكامل تتزايد مع الزمن الكوني، حتى في عينة محددة بحيود نحو الأحمر (ز) يقل عن ٠,٥. ويتوافق هذا من الناحية النوعية مع التوقعات في نماذج التدرج الهرمي، والتي طبقا لها من شأن التجمعات الكبيرة أن تتكون فقط حديثا كمحصلة لاندماج تجمعات أصغر، بيد أن هناك الكثير جدا من العناقيد ذات قيمة (ز) كبيرة تتوافق مع التطور ذي الانحدار الحاد الذى يتوقع مع قيمة $y=1$. والمجرات ذاتها يمكن الآن رصدها حتى قيمة (ز) أكبر من ٣. والمعدل المتوسط لتكون النجوم (والذى يشير إليه ناتج الضوء الأزرق للنجوم حديثة السن) يبدو أن له قيمة قصوى ^(١٧١) عند حيود صوب الأحمر يتراوح بين ١، ٢. ويتناقص المعدل عند الانحرافات الأقل نحو الأحمر، فأغلب الغاز في المجرات يُستنفد باطراد. كما أن هناك تناقصا في ناحية الانحراف الأعلى نحو الأحمر، ففي الأزمنة المبكرة يكون تكوّن النجوم في بدايته (رغم وجود عدم يقين هنا لأن بعض النجوم قد تكون محجوبة بالغبار). وما زالت عملية

تَكُونُ النجوم تعاني من نقص فهمنا لها، مما يحد من النظريات التي تفسرها، عما نحتاج إليه لدرجة أن بعض المنظومات - على المقياس المجري - لا بد وأن تتكثف - على الأقل - قبل قيم $z=0.5$. وتمثل الكوازارات مفاتيح متميزة للاطلاع على المراحل المبكرة من تطور المجرات، وعلى ما حدث مباشرة بعد انهيار أول تكوينات محكومة. وسنعود إلى ذلك في الباب التالي.



الباب الرابع

٤ - الكوازارات (أشباه النجوم) والدراسة الإحصائية لها

٤.١ الكوازارات وحقبة تشكّل المجرات

٤-١-١ توزيع الكوازارات وعلاقته بالمعامل z (ز)

إن المجرات، تلك المنظومات الحلزونية ذات الشكل الشبيه بالقرص مثل المجرة، التي ننتمي إليها (الطريق اللبنى) وكذلك المجرات الإهليلجية ذات الشكل الأقل بهاء، هي اللبنات الأساسية في بناء الكون، والضوء الذي نرصده من غالبية المجرات هو في الأساس المحصلة الإجمالية لضوء بلايين النجوم التي تُكوّنها. ونحن نعلم منذ ما يربو على الثلاثين عاما أن بعض المجرات ليست مجرد حشد من نجوم وغاز. فلبعضها نواة مركزية براقّة قد يكون إشعاعها آتيا من نجوم اعتيادية. وأعظم النوى المجرية النشطة (Active galactic nuclei (AGN) والتي لا يزيد حجم مركزها عن حجم منظومتنا الشمسية، يفوق سطوعها بمراحل لمعان كل نجوم المجرة التي تحتويها مجتمعة (وعندها نحو ١٠^{١١} نجم) هي الكوازار أو شبه النجم، كيف تتطور هذه النوى المجرية النشطة ولماذا؟ ما زال الغموض يكتنف كثيرا من النواحي المتعلقة بهذا التساؤل. وهناك إجماع قوى على أنها تحصل على طاقتها - في المقام الأول - من الجاذبية (أرجح من حصولها عليها من الطاقة النووية مثلا)، وأنه - لكي يكون لها من الكفاءة ما يكفي - فلا بد وأن هناك بئر طاقة عميقا - طبقا لنظرية النسبية. ويتسم النموذج التفصيلي لتولد هذه الطاقة الابتدائية بالتعقيد، وما زال - في كثير من جوانبه - محل جدال، ولكن يبدو أن النجوم والغاز في مراكز بعض المجرات تتكس بالقرب من بعضها

لدرجة التي يتولد معها نوع من الحوادث العنيفة الخارجة عن حدود السيطرة. وقد يكون هذا النشاط العنيف في حياة المجرة طورا قصيرا للأجل نسبيا، بيد أن مقدار الطاقة في خلال الطور النشط للكوازار (شبه النجم) ربما كان معادلا للكتلة الساكنة لأكثر من 10^6 شمس.

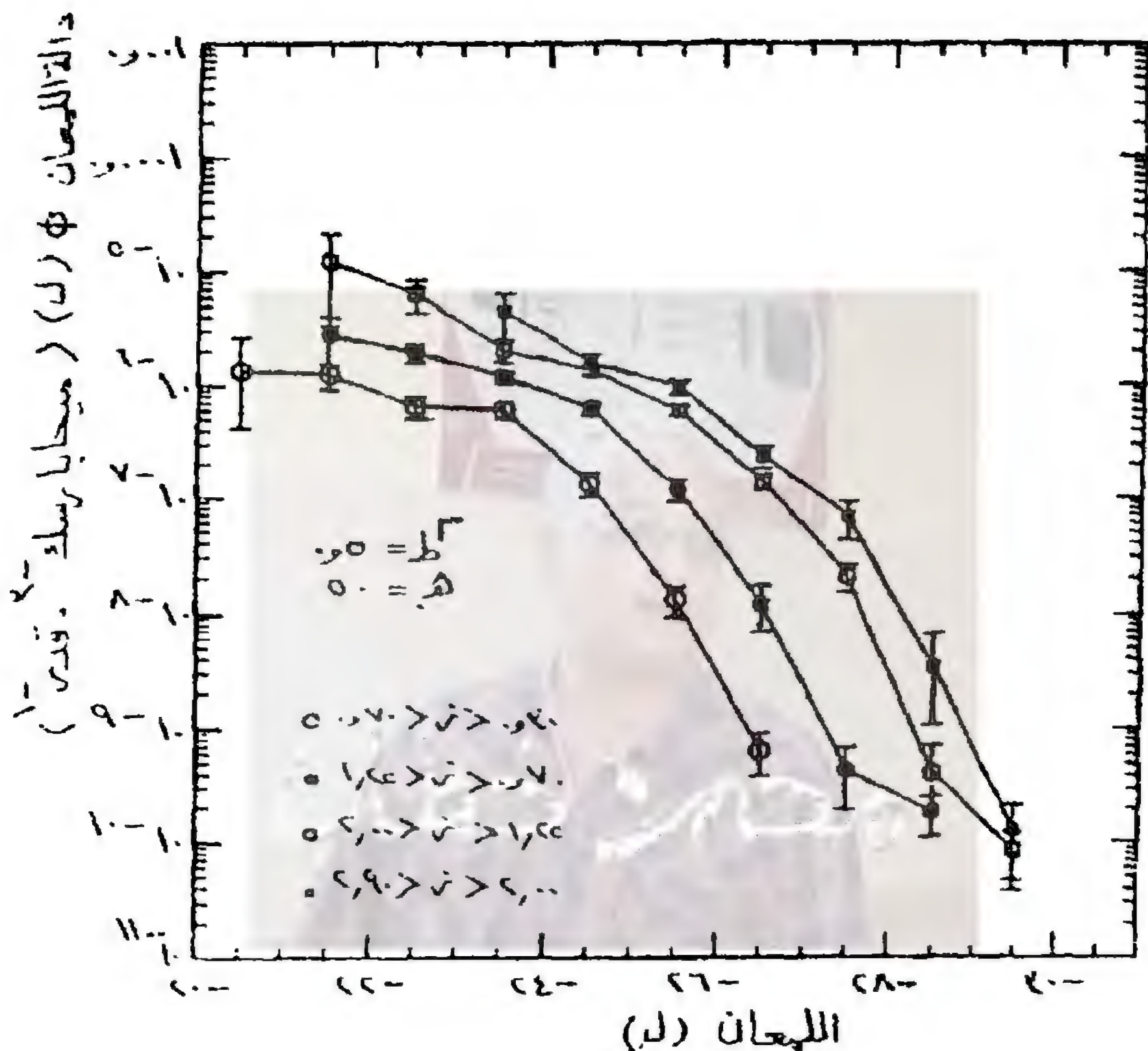
وتعود أهمية أشباه النجوم - من ناحية علم الكونيات - لسببين: أولهما أنها تبيّننا أن تكون المجرة - حتى في حالة الاضطرابات العالية صوب الأحمر - قد خطا خطوات واسعة ليسمح لمثل هذه الأشياء أن تتكون، وثانيهما (وكما هو مشروح بالفصل الخامس) إنها تصلح باعتبارها مسبارا أو أداة استشعار للوسط الذي يتداخل عبر خط مشاهدتها.

لقد نسقت الآن آلاف الجداول المفهرسة عن أشباه النجوم، وأتاح المسوحات المنسقة - طبقا لمنهج مدروس - لعلماء الفلك أن يستخلصوا عدد أشباه النجوم التي وجدت خلال الحقب المختلفة من عمر الكون. والملح الأجر بالملاحظة في تعداد أشباه النجوم وتجمعاتها هو تناقص أعدادها تناقصا حادا ما بين القيمة $z=2$ ، والحقبة الحالية (حيث $z=0$ صفرا). لقد عرفنا ذلك منذ الستينيات، بل وتخيّلناه وتصورناه حتى منذ وقت أكثر تبكيرا بحسابات المصادر الراديوية^(*) (والتي كانت وقتها محل جدل). إن أقرب شبه نجم متألق منا (3C273) يقع على بعد 500 ميجاربارسك. وعند القيمة (z) ما بين 2، 2.5 يقع أقرب كوازار على بعد 2.5 من هذه المسافة، ويصل لمعانه إلى نجم من القدر الرابع^(*) (إنها لمفارقة ساخرة

(*) قسم الأقدمون الأجرام السماوية طبقا للمعناها الظاهري إلى ستة أقسام (أو أقدار magnitudes)، فأعطوا للنجوم ذات اللمعان الشديد القدر الأول، والتي تقل عنها القدر الثاني وهكذا، وأشد النجوم خفونا وإن كانت تشاهد بالعين المجردة من القدر السادس، وكل قدر يزيد في اللمعان عن القدر الذي يليه بحوالي المرتين والنصف. فالنجم من القدر الثالث يزيد في لمعانه مرتين ونصف مرة عن النجم من القدر الرابع وهكذا. ولقياس النجوم الأشد لمعانا تستعمل أرقام أقل من الواحد الصحيح، فالنجم في السماء بعد الشمس (الشعري اليمانية) قدره (-0.8 و 1) أما الشمس فهي من القدر (-22 و 26). (المترجم)

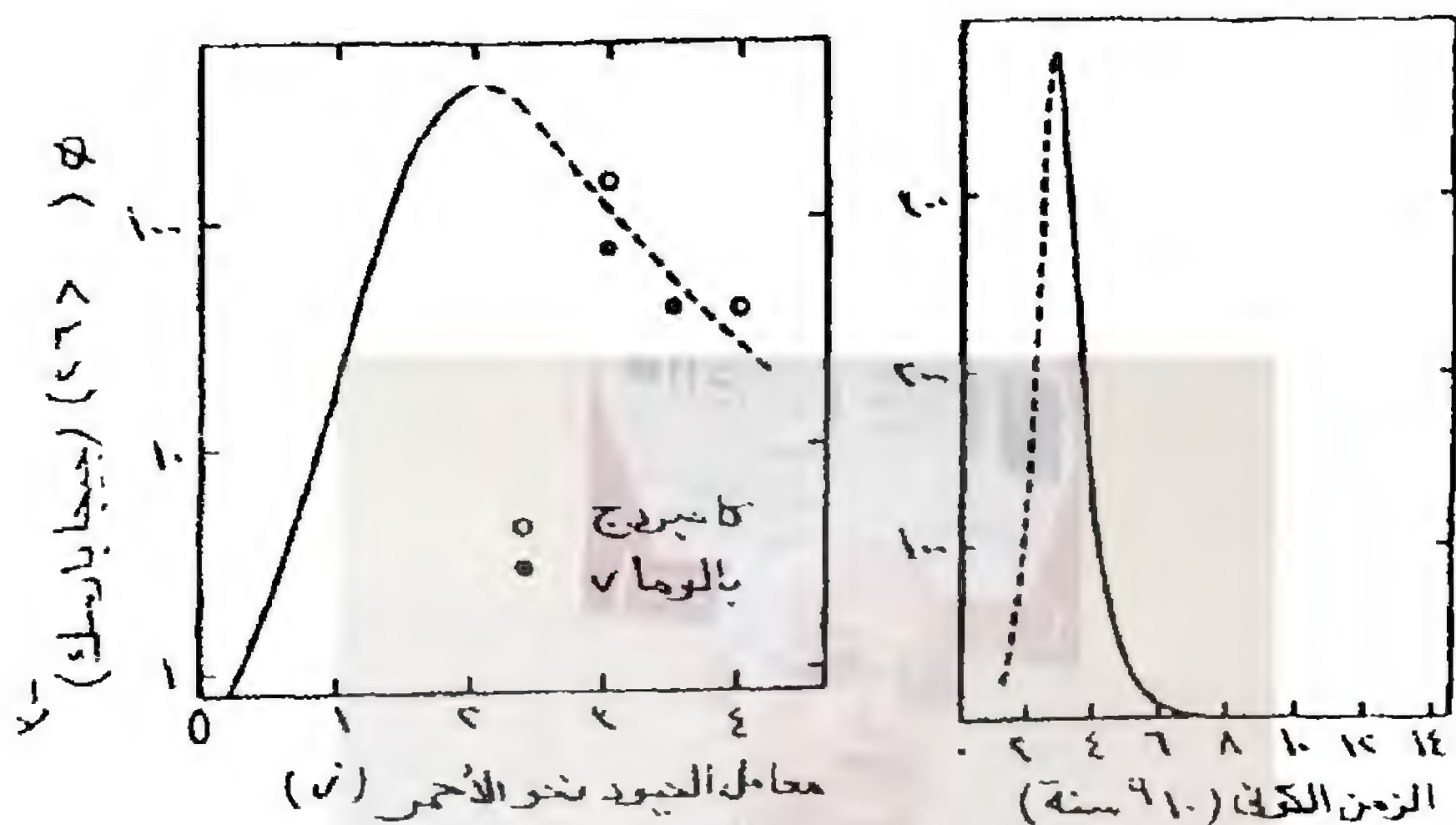
بالنسبة للبشرية، أن تكون أصلح الأوقات للأرصاد الفلكية، هي تلك الحقبة الباكورة التي لم تكن الأرض قد تشكلت فيها بعد) - ولعلنا - بطبيعة الحال توقعنا أن الكوازارات كانت أدنى في تلك الأزمنة السحيقة بمعامل مقداره $(1+z)$ ، لأن الكون كان -ككل- أكثر كثافة. على أن التأثير الحقيقي يفوق ما يتم التوصل إليه عن هذا السبيل: فعند القيمة $z=2$ كان انتشار الكوازارات بالنسبة للمجرات أكثر بألف مرة من انتشارها الآن (٧٣، ٧٤، ٧٤).

ويبدو أن نشاط أشباه النجوم قد بلغ ذروته في الحقبة التي وصل فيها الكون إلى ثلث حجمه الحالي. وقد استمرت صعوبة اكتشاف أشباه نجوم ذات قيمة أكبر من الانزياح صوب الأحمر حتى ١٩٨٧، حين لم تكن هناك سوى أربعة كوازارات ذات انزياح للطيف صوب الأحمر. أما الآن فلدينا أكثر من ١٠٠ شبه نجم من هذه الفئة. وقد احتفظ الكوازار PC1247+3406 بالرقم القياسي للمقدار (ز) وهو ٤,٨٩ (شكل رقم ٣) للفترة من ١٩٩١ وحتى ١٩٩٩. والعقبة في التوصل إلى قيم أعلى للانزياح صوب الأحمر تكمن - بصورة جزئية - في بعد المسافات التي يقل لديها تجمهر أشباه النجوم بصورة كبيرة^(٧٤) (انظر شكل ٢١). فيبدو أن كثافة الحركة المشتركة تتخفض إذا زادت قيمة z عن ٣,٥، رغم أن معدل انحدار هذا الاتجاه نحو النقصان ما زال مثار جدل (شكل ٢٢).



شكل (٢١)

دالة قوة لمعان الكوازارات في النطاقات المختلفة من معامل الانزياح شطر الأحمر ويظهر فيها كثافة الحركة المناظرة للأجرام الالامعة لدى قيم المعامل ما بين ٢،٥، أعلى من قيمتها في الحقبة الحالية (منقولة من بويل ب.ج وآخرين - ١٩٩٠، شهرية الجمعية الفلكية الملكية رقم ٢٤٣ - ١).



شكل (٢٢)

وفي نماذج أينشتاين - دي سيتر الكونية، يرتبط الزمن t بالانزياح صوب الأحمر (ز) بالعلاقة: $t = 10^{10} \times (z+1)^{-1}$ هـ.د. (٢ سنة).
لقد تكونت أشباه النجوم ذات أعلى قيمة نعرشيا للمعاصر z - وطبقا للمعادلة رقم (٢) - عندما كان الكون أخذا في التمدد على 10^9 من السنوات، وكان عمره يبلغ ٧% فقط من عمره الحالي. فـ 10^9 بـ وأن بعض المجرات

لقد تكونت أشباه النجوم ذات أعلى قيمة نعرشيا للمعاصر z - وطبقا للمعادلة رقم (٢) - عندما كان الكون أخذا في التمدد على 10^9 من السنوات، وكان عمره يبلغ ٧% فقط من عمره الحالي. فـ 10^9 بـ وأن بعض المجرات

لقد تكونت أشباه النجوم ذات أعلى قيمة نعرشيا للمعاصر z - وطبقا للمعادلة رقم (٢) - عندما كان الكون أخذا في التمدد على 10^9 من السنوات، وكان عمره يبلغ ٧% فقط من عمره الحالي. فـ 10^9 بـ وأن بعض المجرات

كانت قد تكونت وتطورت سلفا حتى تلك المرحلة التي يتفجر في نواها ذلك النشاط الخارج عن نطاق السيطرة. ويمثل ظهور أشباه النجوم المبكر في تاريخ الكون أحد المحددات الهامة عند وضع سيناريوهات تشكل المجرات. وبصفة خاصة فإن هذا الظهور يشكل مازقا للسيناريوهات التي لا تتنبأ بأن النشاط قد بدأ مبكرا على هذا النحو (على سبيل المثال نموذج الأعلى - الأسفل^(*) الذي يهيمن عليه النيوترينو).

٤.١-٢ التقديرات النظرية للانزياح صوب الأحمر في تشكل المجرات:

في سبعينيات القرن العشرين ذاع على نطاق واسع الاعتقاد بأن تكون المجرات قد حصل في حقب أكثر تبكيرا مما تشير إليه الأرصاد المباشرة، ومنذ ذلك الحين لم يقتصر الأمر على اكتشاف كوازارات (بل وحتى مجرات) ذات انزياح أعلى صوب الأحمر، لكن تقديرات النظريين للانزياح الأحمر لتكون المجرات قد تقلصت أرقامها، وذلك لأن المجرات (ومعها هالاتها المعتمدة) تمتد وتنتشر واقعا أكثر مما كان يظن في السابق. والأفكار الراهنة عن امتداد الهالات وعن الأصل في دوران المجرات تقترح - بصرف النظر عن نموذج نشأة الكون - أن المجرات - أيا كان وقت نشأتها مبكرا - ما زالت مستمرة في الحقب التي يمكننا فيها رصدها رصدا مباشرا (وبالتأكيد لدى إزاحات نحو الأحمر بقيمة z تقل عن ٥).

في الحقب المناظرة للقيمة $z=٥$ ، يكون المقياس الزمني للتمدد الكوني (المعادلة رقم ٢) طويلا بمقارنته بالمقياس الزمني الديناميكي داخل نطاق الجزء "المضيء" من المجرة ذات الهيئة النمطية، لكنه ليس طويلا إذا ما قورن بالمقياس الزمني للهالات الممتدة. ففي مجرة كمجرتنا يصل المقياس الزمني للسقوط الحر المناظر لقطر ١٠٠ كيلوبارسك، إلى ١٠^٩ سنة. وعلى ذلك يمكن ألا يكون الجزء

(*) نموذج من أسفل إلى أعلى Bottom-up scenario: هو سيناريو يتصور تدرج تكون المجرات تولد فيه المجرات الصغرى أولا ثم تتلاحم مع بعضها مكونة مجرات أكبر، وهكذا. ونموذج الأعلى - الأسفل يفترض عكس ذلك. (المترجم)

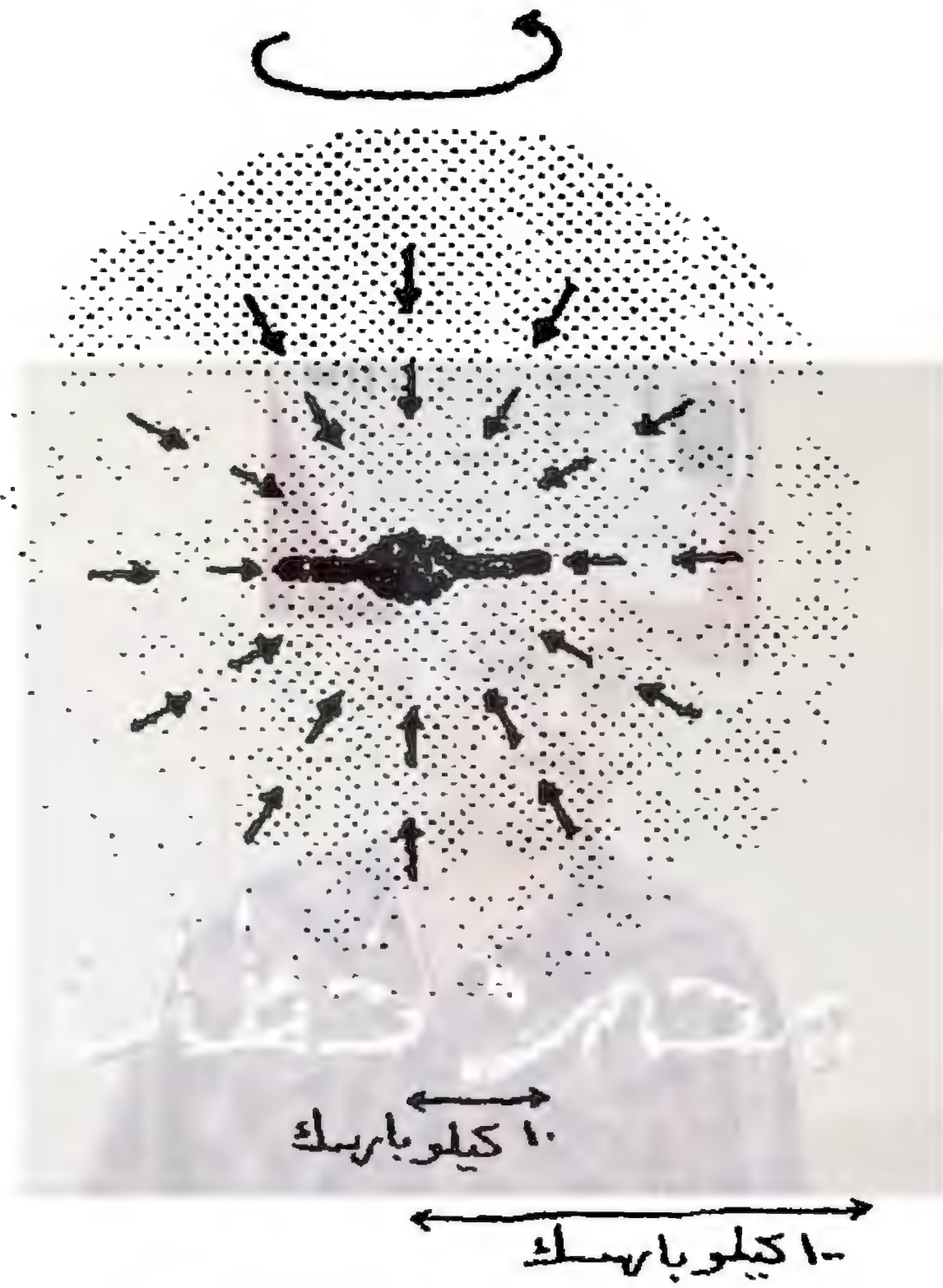
الخارجى من الهالة المجرية قد انهار وقوم إلى أن بلغ عمر الكون ٢ بليون سنة، وبعبارة أخرى ليس قبل الحقبة المناظرة للقيمة $z=2$ ، بكثير. (فى الواقع يطرح العلماء نماذج أخرى أكثر واقعية تتبنى فيها الهالات فى تسلسل هرمى من اضطرابات غير كروية هائلة، أن النشوء قد يكون أحدث زمنا).

وتطرح وجهة نظر أخرى أنه ليس فقط الهالة الخارجية، وإنما حتى الأقراص المكونة للمجرات مثل مجرتنا (بأنصاف أقطار تبلغ نحو ١٠ كيلوبارسك) هى فى الواقع حيازات حديثة نسبيا. وتعتمد وجهة النظر هذه ^(٧٥)، على الأخذ فى الاعتبار المصدر الذى جاء منه هذا العزم الزاوى للمجرات. فلا يمكن للعزم الزاوى أن "يخزن" بدرجة عالية من الكفاءة فى المراحل المبكرة من نشأة الكون الكثيف آنذاك. ولا بد وأن المجرات الأولى اكتسبت دورانها حول نفسها بتأثير المدى المتبادل بينها وبين جيرانها. وتعتمد هذه العملية على الاضطرابات الابتدائية التى كانت - بدرجة كبيرة - غير كروية (وهو المتوقع إذا كانت جزءا من طيف عريض لتذبذبات جاوسية Gaussian Fluctuations، بحيث إن المجرات الأولى كان لها - باعتبارها نمطا سائدا - عزوم هائلة تقدر بأربعة أضعاف. ويصل عزم الازدواج المدى بين المجرات الأولى إلى أعلى درجات كفاءته عندما تهم تلك المجرات بالدوران. وفى الأزمنة المبكرة كان إسهامها فى الكثافة المتوسطة مجرد كسور ضئيلة. ولكن فى مراحل تالية، عندما يكون عدم التجانس على النقيض من ذلك عالى القيمة فإن انفصالاتها تكون أكبر بكثير من أحجامها المميزة لها، ومن ثم يضعف التأثير المدى لدى مقارنته بالتجاذب الرئيسى الذى يتناسب عكسيا مع مربع المسافة. وغالبا ما يستعمل معامل غير ذى أبعاد للتعبير عن العزم الزاوى هو $m \cdot r = j$. ع. ز. ط ح $\frac{1}{2}$. ك $\frac{1}{2}$ ، حيث ع ر هو العزم الزاوى، ط ح الطاقة الجذبوية الرابطة. فلمجرة أولية يساوى م ع ر بالتقريب النسبة ما بين سرعة الدوران الخطية والسرعة المقومة عند لحظة الدوران وتشير التقديرات سواء التحليلية أو العددية إلى أن عزوم الازدواج المدى كانت ستعطى قيما نموذجية

للمعامل م ع ر بالنسبة للمجرات الأولى - فى حدود ٠,٣ إلى ٠,٦ وبالترتبة فلا يمكن أن تحقق المجرة الأولى دعما دورانيا إلا إذا تقلصت - بتشتت - بمعامل كبير (انظر شكل ٢٣).

ولكى يتكون قرص مدعوم دورانيا حيزه ١٠ كيلوبارسك، يتعين أن تكتسب الباريونات عزمها الزاوى عند ١٠٠ كيلوبارسك (ويفترض هذا وجود هالة ثقيلة تمتد لمسافة حوالى ١٠٠ كيلوبارسك، وكذلك يفترض أن مادة الباريونات لا تنقل أيا من عزمها الزاوى إلى الهالة خلال التقلص - وقد تقتضى النماذج الأكثر واقعية نراعا أطول مما يعنى تكونا أبطأ وأحدث للأقراص المجرية).

ومن ثم فهناك وجه نظر نظرية مقنعة بأن تجمع المجرات الكبيرة (وحتى رغم أنها - فى بعض سيناريوهات نموذج الأسفل إلى أعلى - قد تكون بدأت مبكرا جدا) ما كان له أن يتم قبل الحقبة $z=2$ إلى $2,5$ عندما وصل الاكتظاظ بالكوازارات لقمته. وفى الواقع يرجح أن المجرات ذات قيمة $z \sim 3$ فى "مجال هابل العميق" من بين أكبر المجرات التى تكونت وأبكرها نشوءا، ومن هنا فإن تكون الكوازارات مرتبط أوثق ارتباط بعملية التكس التى تكونت بفضلها المجرات نفسها، ومن ثم فإن الكوازارات ذات الانزياح الكبير صوب الأحمر تصلح وسائل استشعار للحقبة المهمة التى تمثل نشأة الكون، حيث كانت الملايسات جد مختلفة عن الحاضر.



شكل (٢٣)

لا تسهم عزوم الدوران المادية - نمطيا - إلا بأقل من ١٠% من سرعة الدوران اللازمة لدعم الطرد المركزي. والمادة الكونية التي تنتهي إلى قرص نصف قطره ١٠ كيلوبارسك ينبغي أن تكون قد تقلصت من نصف قطر أكثر من أو يساوي ١٠٠ كيلوبارسك في البداية. وعلى المقياس الزمني يستغرق هذا التقلص نحو 10^9 سنة. ومن ثم فإن تكون الأقراص المجرية في مجرة كمجرة الطريق اللبنى أو أندروميديا لا يمكن أن يكون قد تم قبل الحقبة التي تتناظر انزياحا للأحمر مقداره ٢ أو ٣.

وفى سبيلى لعرض بعض الأفكار الراهنة، سأبدأ بالاستدلالات المستتبطة مباشرة من الأرصاد، لأخلص إلى ملخص موجز (وأكثر تأملية وحدسا) عن كيفية الربط ما بين الكوازارات ونشوء المجرات الذى سبق مناقشته فى الفصول السابقة.

٤ - ٢ كم كان هناك من الكوازارات؟

إن أشباه النجوم هى (وحوش) كونية نادرة الوجود نسبيا، وفى الحقبة الزمنية الراهنة ليس هناك سوى واحد منها مقابل كل مائة ألف مجرة، وحتى خلال (حقبة الكوازارات) عند قيمة انزياح نحو الأحمر من ٢ إلى ٢,٥ كانت الكوازارات أقل شيوعا - بمئات المرات - من المجرات العادية (٧٣، ٧٦). وبمقدور المرء أن يحدس من الوهلة الأولى نتيجة لذلك أن مجرة واحدة من كل مائة انخرطت فى نشاط كوازارى لأشباه النجوم، وألا يتوقع أن يعثر على بقايا منها فى أكثر من ١% من المجرات الآن. إلا أن هناك احتمالا بديلا. وشكل (٢٢) يصور تطور تعدادها ما بين الصعود والهبوط. والمنحنى لا يمثل بالضرورة دورة حياة نمطية لشيء ما. فتماما كما فى تعدادات الكائنات الحية يجوز أن يولد العديد من الأجيال قصيرة العمر وتتطور، وتموت عبر الفترة الزمنية التى يرتفع فيها التعداد الإجمالى ويهبط. فإذا كان هناك أجيال عديدة من الكوازارات يبقى كل منها أقل من ١٠^٩ سنة، فإننا نتوقع أن توجد منها بقايا أكثر، وحيث إن كتلة كل منها مرتبطة بإجمالى الطاقة المبذولة على مدى عمر الكوازار، فلا يلزم بالضرورة أن تكون هذه الكتلة هائلة الضخامة.

إن ضوء الخلفية المجمع من الكوازارات والذى تم تقديره بناء على مسوحات أجريت للكوازارات يصل إلى كثافة طاقة = ٣٠٠٠ ك. ث. س.^٢ تقريبا لكل ميغابارسك مكعب. وهذا المقدار محكوم بالأجرام ذات قيم انزياح صوب الأحمر (ز) قدرها حوالى ٢ بدالة لمعان كما فى شكل ٢١. إن كثافة توزع

المجرات فى الفضاء فى الوقت الراهن معروفة لنا، ومن ثم فيوسعنا أن نقدر - لكل مجرة - مقدار متوسط الطاقة المصاحبة لنشاط الكوازار. وتبلغ الكتلة المكافئة لهذا القدر من الطاقة زهاء 10^6 هـ.هـ 10^3 ك ش لكل مجرة ذات لمعان (٧٧).

يظل الكثير من ملامح الكوازارات مبهما غامضا. وتبدو لنوى المجرات النشطة ظواهر عديدة على المقاييس المختلفة وعند النطاقات المختلفة من الأطوال الموجية، ويصعب وضعها جميعا فى فئة أو طائفة واحدة. ولم يبق مجال للشك فيما تعنيه كلمة (كوازار ميت)، ويبدو ألا مجال لتحاشى الخلاصة أن كسرا ملموسا من المادة التى يشملها ستتهار فى خاتمة المطاف إلى ثقب أسود هائل. فإذا كنا متفائلين وحددنا ١٠% كنسبة للكفاءة الإجمالية لعملية تحول الطاقة فى أشباه النجوم فعلىنا أن نستنتج أن بقاياها من الثقوب السوداء تصل فى المتوسط إلى 10^6 هـ.هـ 10^3 ك ش لكل مجرة لامعة.

ولكن هل تشارك جميع المجرات فى مقدار هذه المادة (ويستدعى ذلك أنه كان هناك أجيال عديدة من الكوازارات ذات الأجل القصير)؟، أو هل تنشأ الكوازارات وتستديم حياتها لأكثر من ألف مليون سنة فى نسبة ضئيلة من المجرات المحظوظة؟ لا يبدو من المرجح أن أغلب الكوازارات البراقة يمكنها أن يمتد بها الأجل لفترة ألف مليون سنة، فالكتلة الناجمة حينئذ ستصل إلى 10^{11} ك ش، ما لم يكن نطاق إشعاعها قد اقتصر علينا وانحصر فى التوجه إلينا. مهما يكن الأمر، فالموقف أقل وضوحا فيما يختص بالأجرام ذات القوى الإشعاعية الأقل، فنحن لا ندرى ما إذا كانت الكوازارات تتبع - منفردة - مسارا قياسيا فى رحلة تطورها ما بين أطوار براقة وخافتة. وهذا القصور فى معلوماتنا وعدم وجود دليل مباشر على دورة حياة كل كوازار على حدة، أو دورة أدائه النشاط(*) لأنواع

(*) دورة الأداء: duty cycle: هى الجزء من الزمن منسوباً إلى الزمن الكلى الذى ينشط فيه الكوازار أو للجرم النابض ويبعث بإشعاعاته، وتصل قيمته نمطيا إلى ٥٠% من الزمن الكلى. (المترجم)

الأنشطة المختلفة في نوى المجرات، يمثل عقبة كأداء نتعثر فيها خلال محاولاتنا لاستيعاب التطور الذي يصوره شكل (٢٢).

٤.٣ كتل الكوازارات ومدى كفاءة عملياتها:

تتعدد من ناحية الأساس - الأساليب المستعملة في تحديد كتل الكوازارات. ويغلب على الأطياف الضوئية خطوط الانبعاث من سحب الغاز سريعة الحركة التي يدفعها الإشعاع المستمر المنبعث من الأجرام الموجودة بالمركز. وبمقدورنا تقدير المسافة ما بين السحب والمركز من خلال حالة التأين التي عليها الغاز (وتبلغ قيمتها النمطية بضعة أسابيع ضوئية)، وتقدير سرعاتها من عرض خط الانبعاث (وتبلغ هذه السرعات عدة آلاف من الكيلومترات في الثانية). وإذا كان لهذه السحب تحركات بتأثير الجاذبية، أي إذا كانت - على سبيل المثال - في حالة سقوط حر، أو في مدار، فيمكن للمرء أن يستدل على كتلة المركز، وإذا كان الغاز ينساب إلى الخارج في صورة رياح، فإن هذا الاستدلال يفضي إلى الحد الأعلى فقط من التقديرات.

وتعتمد المسألة الثانية ببساطة على ملاحظة أنه، إذا كان مصدر الطاقة في الكوازارات هو تكديسها وتضامها، فإن الضغط الإشعاعي نحو الخارج لن يكون بمقدوره أن يهيمن على الجاذبية، ويتطلب هذا - وبعيدا عن التصحيح الضوئي اللازم - beaming correction - حدا أدنى من الكتلة. وإذا كان تشتت الإلكترونات هو ما ينتج العتامة الرئيسية، فهذا الحد يبلغ $10^{10} (L/10^{46} \text{ إرج/ثانية})$ ك.س. وقد خطا ريلندوفيتش ونوفيكوف هذه العتمة في عام ١٩٦٥ عدة خطوات، ولا يوجد سبب حقيقي يدعو إلى تعيين الحد أدنى الذي توصل إليها عملهما الريادي. فالكتلة اللازمة هي على الأقل 10^8 ك.س. للكوازارات النمطية، 10^9 ك.س. لأعظم الكوازارات قدرة.

ويقارن الجدول رقم (١) ما بين فرضيتين: الفرضية الأولى (أ) كان هناك -
 فعليا جيل واحد ذو فاعلية من الكوازارات هائلة الكثافة طويلة العمر، وذلك مقابل
 فرضية ثانية (ب) بأنه كان هناك خمسون جيلا من الكوازارات، بحيث لم تحتج
 كتلة كل منها على حدة (فى ظل قيمة معينة من الكفاءة) إلى أن تتزايد إلى هذه
 القيم العالية، ولا بد أن بقايا الكوازار كانت هائلة. وفى الواقع فإن ن. لن تكون
 قيمة مفردة ولكن كان هناك امتداد للأعمار لعل له ارتباطا بمقدار اللمعان ل.

جدول مقارنة رقم (١)

مقارنة بين الافتراضية بشأن الكوازارات

الحالة (أ)	الحالة (ب)
ن. \approx ن التطور ك = $10 \times 2,5$ ل \in 10^{-1} ك ش ل \gg ل \in 10^{-1}	ن \approx 10×4 سنة $\approx 0,02$ ن التطور ك = 10×5 ل \in 10^{-1} ك ش ل \approx ل \in 10^{-1}
نطاقات ذات خط عريض محكومة بالجاذبية بقايا هائلة الكتلة فى نحو ٢ % من المجرات	نطاق ذو خط عريض غير محكوم بالجاذبية بقايا فى معظم المجرات البراقة كتلتها نحو 10^{-1} ك ش

هناك مقياس زمنى مميز، يمكن استخلاص قيمته من الثوابت الأساسية، وهو
 الزمن الذى يستغرقه تحويل إجمالى كتلة الجرم الساكنة إلى إشعاع، لو كان يشع بلمعان
 إدينجتون^(*) Eddington luminosity ، وهذا المقياس الزمنى (الذى كان سالييتير^(٢٩)
 أول من صاغ معادلته هو ن. $\sigma = 10^{-1}$ س \div ٤ ط ج ك بروتون = 10×4 سنة^(٣).

(*) لمعان إدينجتون أو حد إدينجتون: النقطة التى يتساوى فيها بالنجم قوى الجاذبية للداخل مع
 قوى الإشعاع للخارج فيحدث اتزان هيدروستاتيكي. وفوق هذا الحد لا يكون النجم مستقرا.
 (المترجم)

والدراسات الفيزيائية الفلكية عن تضام الأجرام تشير إلى أن الكفاءة ϵ التي تتحول بها الكتلة الساكنة حال تقوضها إلى إشعاع لا يرجح أن تتعدى ١٠٠، وسيكون زمن المضاعفة doubling time^(*) المميز لإجمالي كتلة الهالة ϵ . ن. س. ولهذا السبب الجوهرى، يحبذ كثير من العلماء النظريين رقم ٥٠ مليون سنة تقريبا (١٠. ن. س.) كرهان مفضل على العمر النمطي للكوازار.

لا يمكن لهذه المناقشات أن تميز ما بين طور نشط مفرد، وانفجارات متكررة متعاقبة قصيرة الأمد يصل مجموع فتراتها إلى نفس العدد من السنوات (لو كانت الكوازارات قد عاشت لمدد أقصر بكثير من ٥٠ مليون سنة، فإن معنى ذلك أن عملية تحويل الكتلة إلى طاقة لم تكن ذات كفاءة ما لم تكن الكتلة ضئيلة إلى الحد الذى لا تكفى فيه قوى الجاذبية لمنافسة الضغط الناجم عن الإشعاع).

والأرقام فى العمود الأيسر من جدول (١) تشير إلى عدد من الثقوب السوداء ربما بقدر عدد المجرات الضخمة علاوة على ذلك، وبأخذ الكوازارات ذات الطاقة الضخمة فقط فى الاعتبار، ربما توافقت تقديراتنا لكتل الثقوب السوداء فى المجرات ولعددها. فرقم ١٠% المفترض لكفاءة التحول ربما كان مفرطا فى التفاؤل، لأن نوى المجرات النشطة المتوسطة والثقوب السوداء يجوز أن تكون قد تكونت -أساسا- بسبل أخرى أو حتى تكون منتمية لعصور (أقدم). ومما يجدر بنا حقا استكشاف أفضل الوسائل لاستشعارها.

(*) يقصد به الفترة الزمنية اللازمة لمقدار ما، كى يتضاعف حجما أو عددا. (المترجم)

٤ - ٤ الكوازارات الميتة: ثقب سوداء هائلة في المجرات المجاورة

٤ - ٤ - ١ التنوعات النجمية المستدقة:

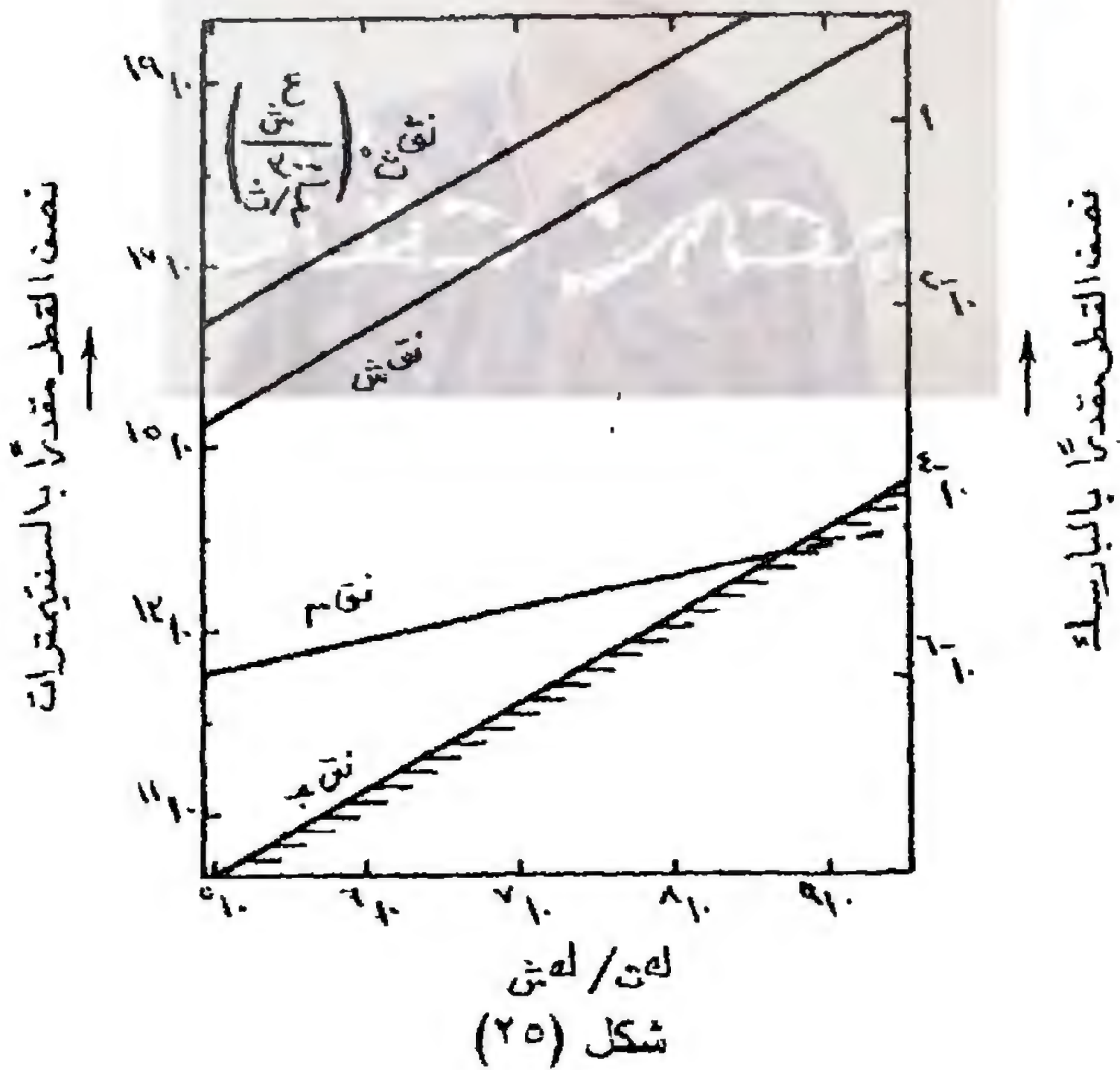
إن أغلب المجرات التى نشطت لحقب طوال، كانت ناشطة كذلك فى الماضى السحيق، لذا فإن الكوازارات الميتة - تلك الثقوب السوداء الهائلة التى نفذ وقودها، ومن ثم خمدت وأخذت للهدوء - لا تصدقنا القول. إن الثقب الأسود الضخم يتبدى لنا كشبه نجم فقط ما دام ظل أثنونه متقدما بما يقتضيه من جيرانه من غاز. إلا أن بقيات كتلته تظل - حتى بعد موته - تمارس تأثيرا جديويا. وتميل النجوم إلى الانجذاب ناحيته. ومن ثم يتوزع ضوء النجم فيما حوله فى هيئة طرف مستدق أو نتوء كالشوكة، بسبب النجوم المارقة بالقرب منه.

تتحدد دائرة تأثير الثقب بالمدى الذى يقترب به منه نجم ما قبل أن يتأثر مدار هذا النجم بجاذبية الثقب، أكثر من تأثيره بإجمالى المجالات الجذبوية لكافة النجوم (والمواد المعتمدة الأخرى) فى المجرة. إن كرة التأثير (ونصف قطرها r_t) هى الحيز الذى فى نطاقه تتجاوز سرعة الإفلات^(*) من جاذبية الثقب ذاته (أو بعبارة مكافئة السرعة المدارية للنجوم المرتبطة جذبوا به)، تشتت السرعة النمطي^(**) $\text{typical velocity dispersion}$ σ عبر المجرة كلها. ويتناسب نصف القطر r_t مع كتلة الثقب M طرديا ويتناسب عكسيا مع σ^2 . إنه أكبر بملايين المرات من (حجم) الثقب نفسه:

(*) سرعة الإفلات من جرم فضائي ما هي السرعة اللازمة لجسم على سطح الجرم، كي ينطلق بها مغلّتا من نطاق جاذبيته وتتحدد هذه السرعة بكتلة الجرم ونصف قطره، ويصل مقدارها بالنسبة للكرة الأرضية نحو ١١.٢ كم / ث. (المترجم)

(**) مقياس تشتت السرعة velocity dispersion: هو محصلة جمع أطيفاف نجوم منفردة تتحرك جميعها في المجرة.

بسرعة هائلة بحيث يرجح أن تحدث لها اصطدامات فيزيائية ببعضها (مشوشة بصفة عامة)، أكثر من احتمال تقابل جرمين تقابلاً من النوع الذى يمكن معاملته بتقريبات النقطة point-mass approximations. نق ش هو نصف القطر الذى يمكن عنده مقارنة سرعة الإفلات من الثقب بسرعة الإفلات عموماً $\approx (2 \frac{\text{ك.ج}^2}{\text{ك}})^{1/2}$ من على سطح النجم. تحدث تشوشات متية فقط فى نطاق أصغر كثيراً من نصف القطر نق $\approx (\frac{\text{ك}}{\text{ك}})^{1/2}$ ث. لحدوث تشوشات ينبغى أن يعبر النجم الكرة عند نصف قطر يساوى تقريباً نق ث فى مدار نصف قطر مخروط الفقدان (**). تقريباً.



(*) يقصد بها إمكان اعتبار الكتلة مركزة بإجماليها بالمركز.
 (**) مخروط الفقدان: هو مخروط تخيلى فى الفضاء يرسم سرعة الجسيمات فى البلازما.

أنصاف الأقطار المختلفة التي يصورها شكل (٢٤) تم توقيها هنا على مقياس لوغاريتمي باعتباره دالة في كتلة النقب ك. ن. ويصل نصف القطر الجذوى للنقب نق ج إلى 1.5×10^{12} (ك ن / 10^9 ك ش) سنتيمتر. وقد وقع نصفا القطر نق ش، نق م \approx نق ج لنجوم من نوع الشمس (لكنها لا تنتمي بطبيعة الحال لفئة العمالقة) دون تشويشها بادئ ذي بدء. عند قيمة نق م = نق ج تتحصر تأثيرات التشوش المدى على نطاق نظرية النسبية العامة، حيث لا تقوى تأثيرات النقب المدية على التعديل بصورة كافية طبقا لتقريب نيوتوني نق ^٢.

ومن هنا كان لا بد من مؤشرين ينبئان عن وجود النقب الأسود الخامد: الأول هو وجود نقطة مركزية من الضوء في خريطة توزيعه ناجمة عن التركيز الإضافي للنجوم داخل نطاق كرة تأثير النقب. (طالما جرى البحث عن هذه النقطة المركزية، لكن كان هناك دوما غموض، فربما كان هناك مصدر إضافي خارجي لضوء غير صادر من نجم عند المركز) والمؤشر الثاني - الأقل إيهاما - هو دليل مستمد من شكل الطيف، وهو أن النجوم الأقرب للمركز كانت تتحرك بسرعة شاذة غير مألوفة.

إن التأثير الجذوى في مركز النقب الأسود يكون محسوسا عند المسافات حتى أدنى المجرات، فقط في نطاق بضع ثوان قوسية - على المقياس الزاوى - من نواة المجرة (تناظر نق في شكل ٢٤). إن المجرة M87 في عنقود العذراء كانت أول مجرة قيل بوجود نتوءات مستدقة للنجوم في نواتها ^(٨٠). ولكن ديناميكيات النجوم في باطن هذه المجرة الإهليلجية العملاقة تظل محاطة بالغموض، وهي مجرة مترابطة كتلة مركزها تبلغ من ١ إلى 2×10^9 ك ش؛ بيد أن العلاقة الجذرية بين الكثافات والسرعات المتوقعة يمكن أن تعود إلى القلب النجمي الكثيف وحده، بشرط أن تكون السرعات - بما يلائم - متجانسة في جميع الاتجاهات ^(٨٠) وهناك دليل مستقل على وجود كتلة معتمدة بالمركز يأتي - على كل حال - من قرص غازي يدور حول الغاز المندفع في مستوى عمودي عليه.

لقد عثر علماء الفلك الضوئي الآن على الدليل على وجود كتلة معتمة في مراكز العديد من المجرات القريبة. وبخلاف المجرة م ٨٧، لا تبدو هذه المجرات في حالة نشاط حاليا ولا حتى على مستويات منخفضة من النشاط ولأنها أدنى بمقدار ١٠ مرات فقد تكشف تركيزات الكتلة في المركز عن أنفسها حتى وإن لم تتجاوز كتلتها 10^6 إلى 10^7 ك. ش. وأكثر الحالات طرافة توجد في أقرب جارة كبيرة لنا في الفضاء: مجرة أندروميدا (م ٣١). وفي ستينيات القرن العشرين، طير شفار ترفيلد ورفاقه في برينستون مرقابا صغيرا (سترا توسكوب) في بالون على ارتفاع عال، لتجنب تأثيرات التشوش الحادثة في طبقات الغلاف الجوي السفلية. واكتشفوا أن النجوم في باطن المجرة (م ٣١) وعلى مقربة عدة سنوات ضوئية من المركز، تتوزع في هيئة مسطح مستو. وفي خلال السنوات الأخيرة القليلة، كشف بحث الأطياف أن سرعات النجوم تزداد نحو المركز^(٨٢) ويبدو أيضا أن نظام التوزيع النجمي المسطح هذا يدور حول كتلة تتركز عند المركز مقدارها 3×10^7 ك. ش.

وليست م ٣١ بالمجرة الوحيدة القريبة التي ثبت وجود هذه الظاهرة فيها، فالمجرة الصغيرة م ٣٢ تحوي جرما معتما في مركزها ذا كتلة 5×10^6 ك. ش. تقريبا. ومن الحالات الطريفة الأخرى مجرة سومبريرو^(*) sombrero^(٨٤). فلهذه المجرة - كما لمجرة أندروميدا - على ما يبدو مركز دوار من النجوم، ذو كتلة بالمركز مقدارها حوالي 10^9 ك. ش. وقد حققت أفضل قياسات أجريت من على سطح الأرض، عن طريق تليسكوب هاواي الكندي الفرنسي، ذي الأربعة أمتار قطرا، دقة قدرها ٠,٣ ثانية قوسية. إلا أن بيانات أفضل من تليسكوب هابل الفضائي قد أيدت بالدليل وجود كل هذه المنظومات^(٨٦، ٨٧).

(*) مجرة سومبريرو (M104 or NGC 4594): مجرة لولبية في كوكبة العنقاء قدرها الظاهري + ٩ ويمكن رؤيتها بمرقب صغير، لها نواة براقة ونبوء غير مألوف بمركزها المحتوي على ثقب أسود ذي كتلة هائلة. (المترجم)

ولكن هب أننا مقتنعون بأن هذه المجرات تضم كتلة معتمة مركزة عند مراكزها، فهل يعنى هذا بالضرورة أنها ثقب أسود؟^(٨٧). ليس هناك "تواء" مركزى فى توزيع الضوء المواكب للكتلة الجذبوية المزعومة (أو المفترضة) فى مركز المجرة م ٣١، والتي تقتضى - مهما يكن شأنها - أن تصل النسبة بين كتلتها إلى طاقة ضوئها - على أقل تقدير - ٣٥ ضعف هذه النسبة بالنسبة للشمس. ترى هل من الممكن أن يكون هناك تركيز غير معتاد من النجوم الخافتة قرب المركز؟ إن عنقودا مجريا يبلغ حيزه عشر سنوات ضوئية يناظر زاوية مقدارها ثانية قوسية لدى مسافة بعد المجرة م ٣١ عنا، ورغم أن هذه الحالة لا يمكن استبعادها بصفة نهائية، فإنه يمكن استتأؤها بناءً على الصور الأكثر دقة التي يمدنا بها مراقب هابل الفضائي: فلو كانت الأنجم الأقرب إلى المراكز تتحرك بتسارع أكبر، بما يستدعى أن تكون المادة القائمة مركزة فى نطاق زاوية مقدارها ١٠ ثانية قوسية حول المركز وليس فقط عبر نطاق الزاوية المركزية كلها (١ ثانية قوسية)، فمن شأن ذلك أن يستثنى وجود عنقود مجرى مدمج (متكدس) من المادة القائمة. فمن شأن مثل هذا التكدس العنقودى أن يتطور بسرعة، باعتباره نتيجة للتلاقى بين النجوم، وبناءً على ذلك يكون من غير المحتمل العثور عليه فى مجرة عمرها ١٠ بليون سنة، ويمكن تطبيق نتائج مماثلة بالنسبة للأجرام الأخرى ذات الكتلة البالغة 10×10^6 ك بر لدى مركز المجرة م ٣٢.

على أن أكثر الحالات إقناعاً بوجود ثقب أسود مركزى قد زودتنا بها تقنية مختلفة بالكلية عن طريق مسح مدهش ودقيق لحركة الغاز عن طريق خط الانبعاث - الميزر^(*) للماء (يدأ) فى المجرة اللولبية المتميزة غير المألوفة NGC4258^(**) والتي تقع على مسافة ٦,٥ ميجابارسك^(٨٧). والتحليل الطيفى فى

(*) الميزر: اختصار لعبارة Microwave Amplification by stimulated Emission Radiation (المترجم)

(**) المجرة NGC 4258: مجرة لولبية تبعد عنا بنحو مليون ٢١ - ٢٥ سنة ضوئية - اكتشفها ميسير عام ١٧٨١. ويعنى الاختصار NGC : new general catalogue & nebula &

الخط الموجي متناهي الصغر كاف لتحديد السرعات بدقة تصل حدودها إلى ١ كيلومتر في الثانية.

وصف خطوط الأساس المفرطة الطول (*) للتلسكوبات الراديوية المتصلة ببعضها يحقق تكبيراً زاوياً أفضل من ٠,٥ مللي ثانية قوسية (وهو تكبير زاوى أدق بمائة ضعف، كما أنه تكبير طيفي للسرعات أدق بما لا يقاس مما يمكن لتلسكوب هابل الفضائى أن يحققه). ولقد كشفت هذه الأرصاد - فى قلب المجرة تماماً- عن قرص دى سرعات دوران تتبع تماماً قانون كبلر حول كتلة قائمة مدمجة. وتدور الحافة الداخلية لهذا القرص الذى تم رصده بسرعة ١٠٨٠ كيلومتراً فى الثانية. وفى حكم المستحيل - وله نصف القطر هذا - أن يرسم حدود عنقود نجوم مستقر دى عمر طويل تدلنا الأرصاد على أن كتلته تبلغ 3×10^6 ك. ش. والدليل على وجود ثقب أسود والمستمد من هذه الملاحظات والمعطيات قد تنامى باطراد عبر ثلاثين عاماً. إلا أن هذا الكشف المرموق قد عوق مسيرة القضية تماماً، فالكتلة المركزية يجب أن تكون إما ثقباً أسود أو شيئاً حتى أكثر غرابة.

٤.٢ هل هو وهج لنجوم شوشتها العوامل المادية

وليست هذه الثقوب السوداء الضخمة بالشئ غير المتوقع. فإذا نحن أصبنا فيما نحزره من أعمار الكوازارات (وكم من أجيالها عاشت وماتت)، فإننا لن نشده إذا وجدنا ثقباً أسود فى أغلب المجرات (انظر جدول ١). لكن، وقبل أن نتقبل هذه النتيجة المستخلصة، علينا أن نواجه معضلة أدهى: هل يمكن لمثل هذا الثقب الأسود الضخم أن يكمن حقاً فى هذه المجرات دون أن يستدل على وجوده بدلائل

clusters ولها قرص مائل ومنتوء غير مألوف بالمركز الذى يحتوى على ثقب أسود هائل. (المترجم)

(*) سبق القول بأن نظام القياس عبر الخطوط مفرطة الطول VLBI يقصد به نظام تجميع الأرصاد لنفس الجرم فى ذات الوقت من مراقبين راديويين متباعدين جداً. (المترجم)

أخرى؟ لقد اعتدنا على فكرة أن الثقوب السوداء (عند تضامها وتلاحمها) تمثل مصادر إشعاع ذات كفاءة، إلا أنه ما من علامة على مثل هذا النشاط في المجرة م ٣١: والحد الأعلى لهذا النشاط بها لا يزيد على جزء من عشرة آلاف جزء من شبه نجم. فهل يمكن أن ينتضب ثقب أسود تماما من الوقود بحيث لا يظهر له وجود - حتى على الأقل في صورة شبه نجم بالغ الضالة؟

ليس هناك تعليل مسبق أو مفضل لماذا لا يكون الغاز قد انقشع من مركز المجرة م ٣١ تماما. ومعروف - على كل حال - أن كثافة نجم ما تكون مرتفعة، إذا لم تكن النجوم مكدسة بشدة عند مركز المجرة، فلا دليل لدينا على وجود ثقب أسود على الإطلاق. ويتخذ كل نجم لنفسه مسارا معقدا تحت التأثير المشترك لكل النجوم الأخرى، وتأثير الثقب نفسه. وتتغير المدارات تدريجيا أو تحيد عن مساراتها نتيجة تراكم تأثيرات الالتقاء بنجوم أخرى. وثمة احتمال أن ترحز هذه الالتقاءات مسار النجم في اتجاه نصف قطر المجرة تقريبا بحيث يدنو كثيرا من الثقب. وقد يسقط نجم ما - عرضا - داخل الثقب تماما.

على أن هناك حدا للمدى الذى يمكن لنجم أن يدنو به من ثقب أسود دون أن يتعرض للدمار، فالنجم المدمج بشدة - كالقزم الأبيض على سبيل المثال - قد يقع داخل ثقب أسود هائل لأول مرة - بدرجة أو بأخرى. على أن النجوم الأضخم أكثر تأثرا بالعوامل المدية. وبمقدور المرء أن يحسب إلى أى مدى يمكن أن يقترب نجم عابر قبل أن تمزقه القوى المدية إربا. ويتناسب نصف قطر الثقب الأسود نق ت مع كتلته، فى حين أن نصف القطر المدى نق م يتناسب مع الجذر التكعيبي فحسب (انظر شكلى ٢٤، ٢٥). وثقب فى اتساع الثقب الذى يقال بوجوده فى المجرة م ٨٧ بمقدوره ازدياء نجم من نوع شمسنا دون أن يلم به أدنى اضطراب. على أية حال إذا كان للثقب كتلة تتراوح ما بين 10^6 ، 10^8 ك ش (وهو النطاق المناظر لأدنى المجرات منا) فإن نصف القطر المدى لنجم كالشمس يكون أضخم من الثقب نفسه بمقدار يتراوح ما بين ١٠ مرات، مائة مرة.

ويمثل حسابات احتمال مرور نجم فى نطاق نصف القطر المدى لنقبة مركزى طبقا لديناميكيات النجوم، مشكلة بالغة التشابك - وإن أمكن التعامل معها- وتقع مثل هذه الأحداث مرة كل بضعة آلاف من السنوات، حيث يعتمد المعدل المضبوط على إحصائيات عن مدارات النجوم، وبوجه خاص على مدى السرعة التى يعاد فيها ملء مدارات مخروط الفقدان Loss cone النصف قطرية.

وقد يكون الوهج الناجم عن اضطراب نجم ما، هو أوضح الوسائل للتحقق من وجود ثقب أسود^(٨٨). وتمثل هذه الظاهرة تحديا غير مسبوق لنماذج المحاكاة عن طريق الحاسب الآلى. ويجب أن تنتقل الحسابات المبدئية التى تمت فى هذا الشأن حتى الآن جوهر ما يجرى. فسوف يتأثر نحو نصف الحطام الناجم، بسرعات تصل إلى عشرة آلاف كيلومتر فى الثانية، فى مدارات لها شكل القطع الزائد. فى حين سيحتبس النصف الآخر بالثقب، وينسحب فى مسار دوامى لولبى نحو داخله^{٨٨، ٨٩}. وسوف تتوهج النواة فى لمعان يفوق لمعان المستعر الأعظم supernova، بل إن لمعانها ليصل تقريبا لمستوى شبه النجم، إلا أن ذلك لن يدوم لأكثر من سنة. ويصعب حساب كم من هذا الإشعاع سيبزغ فى النطاق المرئى. وكم سيكون الجزء الداخلى فى نطاق الأشعة تحت الحمراء (أو حتى الأشعة السينية) من الطيف الكهرومغناطيسى.

والسؤال الثانى هو: بأى معدل سوف يخبو اللمعان، وكم من الوقت سيدوم حتى تخبو البقية الباقية منه. وتتبع أهمية هذا السؤال من أننا نود معرفة ما إذا كان التألق سينوى إلى ما دون مستويات إمكانية رصده قبل أن يحدث الاضطراب النجمى التالى بعد ١٠^٢ إلى ١٠^٣ سنة. ولا تزال تفاصيل كل ذلك موضع جدال، فعمليات الإشعاع وسريان الغاز تميل إلى أن تكون أكثر صعوبة فى حسابها من الظواهر الديناميكية، التى يمكن فيها التعامل مع النجوم باعتبارها نقاطا تتركز كتلتها عند مركزها - طبقا للمبدأ النيوتونى (تماما كما أشرنا فى الباب الثالث إلى

أن أصعب النواحي في تَكُون المجرة من حيث تقديرها كمياً، هي تلك النواحي المرتبطة بالكون الباربيوني).

لعل التوهج المتنبأ به يكون أصلح وسيلة لاختبار صحة فرضية الثقب الأسود. ومن الواضح أننا لا ينبغي أن نتوقع اختبار كهذا من المجرة م ٣١ في خلال أعمارنا نحن ولكن لو أن أغلب المجرات تحتضن ثقباً سوداء، فإن مسحاً يشمل أقرب عشرة آلاف مجرة منا سيظهر ببضعة من هذه الثقوب خلال نروة توهجها، بل وربما أكثر من ذلك.. في حالة ما إذا كان تمييز أحدث الاضطرابات المدية بها في حيز الإمكان. وينبغي أن تكشف لنا برامج المراقبة بصفة عاجلة أمثلة من هذه الظاهرة الجديدة، أو أن تبدأ في إرساء حدود ذات مغزى للثقوب السوداء المركزية و/أو الاضطرابات النجمية فيما حولها.

٤. ٣ ملحوظة فيما يتعلق بمركز مجرتنا:

لعله من يمن الطالع أن توجد أضخم الثقوب في المجرات الإهليلجية. على أية حال، تومئ المؤشرات من المجرة م ٣١ والمجرات القرصية الأخرى إلى أن مجرتنا نحن كانت ستصبح شحيحة الحظ من الرزق لو خلت من ثقب أسود في مركزها. ولست سنوات طوال كان هناك دليل من الملاحظات على وجود كتلة مادية مركزة لدى المركز قيمتها عدة ملايين من كتلة شمسنا. ولقد أتى هذا الدليل - على أية حال - في المقام الأول من حركات تيارات الغاز أكثر من إثباته من النجوم. فالغاز عرضة لقوى غير جذبوية، وقد لا يتبع في مساره مسار المقذوفات المعتاد، ومن ثم فهناك بعض الغموض^(٩٠). ويلوح أن مصدراً راديويًا مدمجاً فريداً يكمن - دونما حركة تقريباً - في المركز الديناميكي لمجرتنا. ومن الطبيعي - وليس هذا بالأمر الفريد - أن يفسر هذا المصدر على أنه تأثير من مستوى منخفض جداً من تلاحم (تضام) فوق ثقب أسود ضخم.

إلا أن الدليل المباشر ظل غير حاسم حتى سنوات قلائل، فالغاز والغبار المتدخلان في مستوى مجرة الطريق اللبنى يمنعاننا من الحصول على صورة بصرية واضحة للنجوم لدى المركز، مثلما يمكننا في حالة المجرة م ٣١. ونحن نعرف الكثير عن تحركات الغاز من القياسات الراديوية وقياسات الأشعة تحت الحمراء، لكن يصعب تفسير أو تأويل تلك القياسات لأن الغاز لا يتحرك في مسارات المقذوفات مثل النجوم، وإنما قد يتأثر بتدرجات في الضغط، وبالرياح النجمية وغيرها من العوامل غير الجذبوية.

على أن الموقف قد تبدل من خلال أرصاد مشهودة لنجوم تقع في المنطقة تحت الحمراء القريبة^(٩١)، حيث تقل العقبة المتمثلة في عدم الوضوح الذي تتسبب فيه المادة المتداخلة. لقد أجريت هذه الأرصاد باستعمال أجهزة ذات حساسية تكفل تكبيراً كافياً لاستشعار التحركات في الاتجاه العرضي لبعض النجوم على مدى ثلاث سنوات (وهو جهاز حديث التقنية من ESO في شيلي). ولقد أكدت تلك الأرصاد بيانات تلسكوبى "كيك"^(*)، وحددت بالمثل السرعات في اتجاه نصف القطر من دراسة الأطياف. ومن هنا صار لدينا معلومات - في الأبعاد الثلاثة - عن كيفية حركة النجوم في نطاق ١٠٠ ميغابارسك من مركز مجرتنا. وتتناسب السرعات حتى ٢٠٠٠ كيلومتر في الثانية مع نق $1/2$ (مقلوب جذر نصف قطر) مقيساً من المركز، في ترابط مع وجود ثقب كتلته 2.5×10^6 ك.غ. ويزودنا مركز مجرتنا الآن بأكثر الحالات إقناعاً بوجود ثقب ذي كتلة هائلة، مع استثناء وحيد.. هو المجرة NGC 4258.

٤.٥ الثقوب السوداء الثنائية:

ربما كان هناك ثقب سوداء مركزية في أغلب المجرات^(٩١). ونستنتج من المعطيات في شكل ٢١، ٢٢ أن معظمها قد تشكل سلفاً عندما كان عمر الكون بين

(*) انظر الباب الأول.

٢، ٣ بليون سنة. ووفقا للتصور الهرمي التسلسلي لنشأة الكون، تكون أغلب المجرات قد مرت بعمليات اندماج منذ ذلك الحين. وفي الواقع يشيع لدينا رصد حالات اندماج المجرات. وعندما تتدمج مجرتان، فإن مدارات النجوم المكونة لهما تختلط و تتشابك، وتكون المحصلة "تلا" من النجوم يشبه في هيئته مجرة إهليلجية. وإذا كانت كل من المجرتين الأصليتين تحوى ثقبا أسود ضخما، فإنهما ستندمجان في شكل لولبي عند مركز المجرة الناجمة عن الاندماج، مكونين ثقبا أسود ثنائيا ضخما.

وفي خاتمة المطاف، يتقارب الثقبان بما يكفى لكى يتأثر كلاهما أكثر وأكثر بالشد الجذبوى الذى يمارسه عليه الثقب الآخر، والذى يتخطى عند ذلك تأثير مجموعة النجوم المحيطة بهما. ويستمر هذا الثقب الأسود الثنائى فى الانكماش - مع نقله لطاقته الحركية إلى النجوم (ولعله يعانى أيضا من سحبه للغاز)، إلى أن يقترب قريبا كافيا من حد الإشعاع الجذبوى^(*)، ويتناسب مقياسه الزمنى مع قوى الانفصال مرفوعة للأس الرابع، مما يجلب فى النهاية تمام الالتحام. وتتبعث - خلال المراحل الأخيرة من الحركة اللولبية إلى الداخل المؤدية إلى الالتحام، دفقة قوية من الإشعاع الجذبوى، تصل إلى ١٠ فى المائة من كتلة (أو طاقة) الثقبين. ومن الممكن أن نستشعر هذه الموجات الجذبوية فى نطاق الترددات المنخفضة جدا (من 10^{-2} إلى 10^{-4} هيرتز)، حتى من قيم الانزياح نحو الأحمر العالية، عن طريق خرائط أجهزة قياس التداخل الفضائية interferometers، مثل مشروع LISA^(**) الذى تخطط له فى الوقت الراهن وكالة الفضاء الأوروبية^(***)، والذى

(*) الإشعاع الجذبوى gravitational radiation : صورة من الطاقة المنبعثة من الكتل المتسارعة فى شكل موجات تنطلق فى (الزمكان) بسرعة الضوء من المستعرات العظمى والأجرام التى تهوى فى الثقوب السوداء (وإن لم يتم استشعارها حتى الآن). (المترجم)

(**) Lisa: اختصار لعبارة laser interferometer space antenna: وهى بعثة لاستشعار ودراسة الموجات الجذبوية الآتية من مصادر شمل الثقوب السوداء الضخمة والمجرات الثنائية، وهو مشروع مشترك بين وكالة ESA & NASA. (المترجم)

(***) صدر هذا الكتاب عام ٢٠٠٠.

سيتضمن مراقبة أشعة الليزر المتنقلة من مركبة فضاء تبعد بمسافة ٥ ملايين كيلومتر في مدار حول الشمس. ومهما يكن فئمة أنباء محبطة للقائمين بهذه التجربة، لأن معدل هذا الحدث ينبغي له أن يكون أقل من مرة في كل عقد، وإلا لكان هناك اكتظاظ بالنقوب من ذوات الكتل المتوسطة (ما بين 10^4 ، 10^6 ك ش)، علاوة على تلك النقوب التي تواكب الكوازارات ^(٩٢). ولحسن الحظ ففيما يختص بتجارب مشروع ليزا ستكون الأجهزة حساسة بما يكفي كي تستشعر أضعف الموجات الجذبوية التي تنبعث من نجم مدمج (أو ثقب له كتلة نجم) يدور قريبا من ثقب هائل الضخامة يقدر بحوالى 10^6 ك ش، في مجرة قريبة.

وبالمناسبة، لا يتضح تمام الوضوح ما إذا كان الثقب الناتج عن عملية اندماج سيبقى ثانويا في مركز المجرة التي (تستضيفه). فربما يحدث ارتداد على الأعقاب نتيجة لانبعاث عزم خطي محصل من الموجات الجذبوية في الالتحام الختامي ^(٩٣). وهو تأثير جذبوى ذو مجال قوى، يعتمد أساسا على غياب التماثل في المنظومة. ومن ثم فلا يمكن حسابه بالدقة اللازمة إلا إذا توفرت حسابات ذات جدوى في الثلاثة أبعاد قائمة على أسس نظرية النسبية العامة. وتلك واحدة من التحديات الكبرى التي تمثل مشكلة في فيزيائيات الحسابات بالكمبيوتر في الولايات المتحدة، ولعل من الممكن إنجازها قبل أن ينطلق مشروع ليزا. والسرعات التي تتضمنها هذه العمليات - وعلى أساس تقريبات ابتدائية كثيرة - قد تصل إلى عدة مئات من الكيلومترات في الثانية. وإذا ما انجرف ثقب ثالث للداخل قبل تمام اندماج الثقبين، فإن طلاقات كالنبال ذات طابع نيوتونى قد تؤدي إلى الانطلاق بسرعات أعلى. وعلى ذلك فإن بعضا من النقوب السوداء بالغة الضخامة قد تكون جواله على غير هدى في الفضاء فيما بين المجرات.

٤. ٦ تأملات حول تطور أشباه النجوم في ضوء تفسيرات نشأت الكون:

لا يمكن -افتراضا- أن يبدأ نشاط شبه النجم حتى تكون بعض المجرات (أو على الأقل مناطقها الداخلية) قد تكاثفت من الكون الآخذ في التمدد، بحيث إن

النشاط الخارج عن حدود السيطرة يمكن أن يحدث داخل بئر مجال موضعي. وتمثل حقيقة أن الكوازارات تشكلت في مرحلة مبكرة من عمر الكون محددا مهما للنماذج الموضوعية عن تشكل المجرات، وعلى وجه الخصوص النماذج التنازلية (الأعلى - الأسفل) التي تقول بأن التكوينات على المقياس الكبير تتكون قبل المجرات المنفردة. فعلى سبيل المثال، لدينا النموذج اللاحرارى الكاظم للحرارة adiabatic البسيط^(*) (أو النموذج الكعكة كما يطلق عليه) والذي تهمين عليه النيوتريونات- عندما تتعدل سعة الذبذبة بحيث تتوافق مع بيانات عملية التجمع فى عناقيد أو عدم التجانس فى خواص خلفية الموجات فائقة الصغر الذى كشف عنه القمر COBE، فهذا النموذج لا يستطيع أن يفسر انهيار المنظومات عند هذا الانزياح العالى صوب الأحمر.

وفى نماذج التسلسل الهرمى للكون، من المتوقع أن يتطور أكثر الكوازارات تبكيرا فى أول آبار مجال ذات كتلة وعمق كافيين، وهى التى تقوم بعد انهيار القمم ذات السعات المرتفعة فى التوزيع الابتدائى للمادة المعتمدة. وفى نموذج المادة المعتمدة الباردة (CDM) القياسى تكون للقمم (أكبر من $10^3 \sigma$) والتى تنهار عند $z=5$ ، تكون لها كتلة تتراوح ما بين 10^{11} ، 10^{12} ك^ش، وتصل تشتتات السرعة 10^4 ش^ك إلى 400 كم / ث.

وهذه الهالات المقيدة لا بد وأنها - بالتأكيد - تحوى من الكتلة ما يكفى لتشكيل كوازار وآبار مجال عميقة عمقا يكفل كفاءة احتجاز الباريونات، وعدم اليقين الرئيسى هو ما إذا كان الغاز الداخلى البالغة كتلته 10^9 ك^ش (والذى يدور حول نصف قطر مقداره 5 كيلوبارسك) يستطيع أن يفقد العزم الزاوى ويستقر عند المركز، وإلى أى مدى تصل سرعة ذلك^(٩٤).

وقلب الغاز وكتلته 10^9 ك^ش من شأنه أن يهوى إلى الداخل فى زمن يصل إلى 10^4 سنة، إلى أن تبرز أهمية العزم الزاوى، ما لم تتحول كل هذه الكتلة فى

(*) العملية الأديباتية فى الديناميكا الحرارية هى العملية التى تتم دون تبادل حرارى. (المترجم)

الحال إلى نجوم. ولقيمة نمطية للمعامل λ في المجرة الابتدائية، من شأن الدعم الدوار rotational support أن يوقف الانهيار عند ١٠٠ بارسك، إذا احتجز الغاز كل عزمه الزاوي الابتدائي، ويجوز أن تتم عملية تشكل النجوم خلال هذا التقلص حقا. وهذا هو الأسلوب الذي قد ينشأ به البروز الداخلي في مجرة كبيرة. ويبين شكل (٢٦) بصورة تخطيطية بعض العمليات التي تجري خلال ذلك، ويمكن أن تتولد العناصر الثقيلة عن طريق النجوم مرتفعة الكتلة خلال هذا التقلص. ولا يمكننا التنبؤ بنسبة التفرع (*) branching ratio بين تكون النجم والتقلص المباشر.

ومقياس الرسم الديناميكي عند ١٠٠ بارسك هو 3×10^6 سنة. والسؤال التالي هو ما إذا كانت المادة المدعومة دورانيا عند هذه القيمة من نصف القطر (الغاز الذي لم يتحول) مع المادة التي تحولت عن طريق النجوم يمكنهما الاستمرار في التقلص والسقوط بصورة أكبر نحو المركز. وبشكل محدد، من الأهمية معرفة ما إذا كان هذا الغاز قادرا على فقدان عزمه الزاوي في خلال فترة أقل من تلك اللازمة لمائة دورة كاملة (أي خلال 3×10^8 سنوات) فإذا كان لا يستطيع فإنه لن يقوى على بدء تكوين كوازار في زمن مبكر مثل الحقبة، التي كان فيها المعامل $z = 5$.

يصعب تقييم كفاءة نقل العزم الزاوي بصورة كمية. على أية حال تشير نماذج المحاكاة إلى أنه - في المنظومات ذاتية الجاذبية - يستغرق نقل العزم الزاوي في الاتجاه إلى الخارج بضعة أضعاف من معامل الزمن الديناميكي dynamical timescale^{٩٥}. وإذا كان الأمر حقا كذلك فإن كتلة مقدارها 10^8 إلى 10^9 ك من الباريونات (أثريت سلفا بالعناصر الثقيلة) يمكنها أن تتراكم في منطقة بالمركز لا يزيد حيزها عن بضعة بارسكات عبر 10^8 سنوات عقب

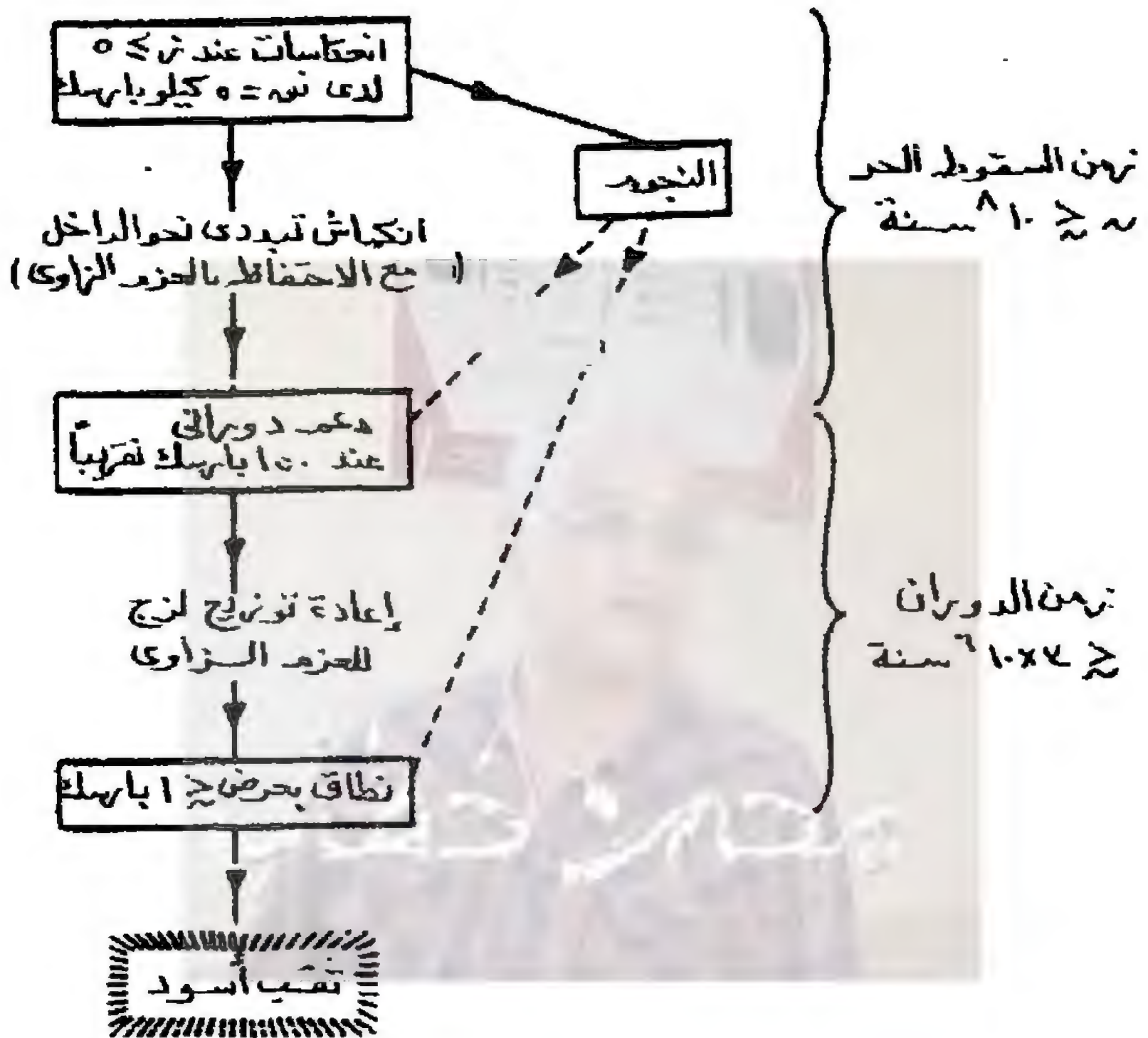
(*) نسبة التفرع branching ratio: النسبة ما بين عدد الجسيمات المضمحلة بأسلوب ما إلى عدد الجسيمات المضمحلة الكلي. (المترجم)

الانهيار الابتدائي. حقا.. إن تجنب مثل هذه النتيجة يبدو في حكم المستحيل. والسلسلة الوحيدة من الأحداث التي من شأنها أن تعيق التراكم (والانهيار غير المحكوم) لتركز الكتلة حول المركز هو تحول كامل وسريع للغاز، الذي يهوى نحو الداخل (انظر شكل ٢٦) داخل النجوم منخفضة الكتلة هذه لدرجة أنها لا تلتفط أيا من مادتها - كما أنها لا تعيد تكوينها - خلال $10^8 \times 3$ سنة.

إن المحاكاة الكونية بأسلوب (العدد النوني من الأجسام) ^(٩) تبين أن الهالات الكبيرة في الحقبة الراهنة لها توارىخ متنوعة: فبعضها تكونت لها نوى حول قمة مفردة، وغيرها نتج من اندماج - حديث نسبيا لمجموعات تتخثر حول قمم عالية منفصلة في التوزيع الأولى للكثافة، لكنها تبدأ في التكون بصفة عامة من الداخل متجهة للخارج: فالكتلة البالغة 10^{11} ك. ش. قد تقوم عند ز أكبر من ٨ حتى ولو لم تكن الهالة تامة التكون لغاية $z > 2$. والباريونات التي يرجح احتمال تجمعها في جرم مدمج بالمركز هي التي تتحد بكل دقة بالمادة الداخلية: وهناك احتمال بكل تأكيد أن جزءا كبيرا من هذه الباريونات (10^{11} ك. ش.) سيسهم في نوى المجرات النشطة. ومن ثم فقد يضطرم شبه النجم قبل أن يتم تجمع الهالة، وربما يتزامن طوره النشط مع تكون النجوم في (النوء). وتكون المنظومات (الحاضنة) قد جمعت هالات ذات كتلة تربو على 10^{12} ك. ش. وأكبر المواضع القريبة المباشرة بوجود كوازارات مينة هي بالتالي مراكز المجرات بالغة الكبر، لكن هذا لا يعنى أن انطلاق نشاط الكوازار سينتظر حتى تمام تكوين الهالة بأكملها ^(٩٤).

بالنظرة الأولى، قد يعتقد المرء أن النشوء ذا الطبيعة التراثبية الهرمية للكون، حيث يتدرج تعمق آبار طاقة الوضع وتعاظم كتلتها باطراد، سيسفر عن ثقب سوداء أكبر، ومن ثم عن نوى مجرية نشطة أكثر قوة في الحقب الحديثة. غير أن دالة اللمعان المبينة بشكل (٢١) تشير إلى عكس ذلك، فالكوازارات ذات قيم أعلى للمعامل z تحتوى - نمطيا - على ثقب سوداء أكثر ضخامة.

(*) انظر بند (٣ - ١) بالباب الثالث. (المترجم)



شكل (٢٦)

العمليات والمقاييس الزمنية لكثافة مركزية 10^9 ك ش من الباريونات في مجرة أولية تبدأ في التقوض عند $z \leq 0.5$. تكون هذه المادة النتوء النجمي وربما أيضا تكون ثقبا أسود مركزيا ولعل الكوازارات ذات قيمة z المرتفعة تجسّد لهذه العملية.

كيف يحدث هذا؟ إن عملية تكون ثقب أسود يقتضى بئر طاقة وضع عميقا، لكنه يكون أكثر كفاءة عندما يقع الانهيار لدى حيود أكبر صوب الأحمر. وذلك لأن المنظومات التى تنهار أولا تميل إلى الاحتواء على كثافة أعلى (ومن ثم تسمح

بتبدد أكثر كفاءة) وكذلك بعزم زاوى أقل. وبافتراض أن كل هالة تحتفظ بلمعان
إدنجتون قدره ١٠^٦ × ٤ سنة قبل أن تزدوى، فإن نماذج نظرية
بعينها - تمشيا مع هذا الخط - تنتج توافقا مرضيا مقبولا مع دالة لمعان الكوازار،
ومع أسلوب ارتفاعها وانخفاضها بين $z = 5$ والحقبة الزمنية الحالية (انظر شكل
٢١، ٢٢).

والكوازارات النادرة ذات قيمة z منخفضة والنوى المجرى النشطة لا توجد في
المجرات حديثة النشأة: فبعض ظروف التأثيرات البيئية - على سبيل المثال التفاعل
الداخلي الوثيق أو الاندماج مع جار - من شأنها أن تعيد النشاط لجزء صغير من
المجرات التى تكونت فعلا. (غالبا ما نخمن أن جميع الكوازارات تضطرم بمثل
هذا التفاعل البينى. على أية حال فما لمجرة أن تستقر عند - الحيوذات العالية
صوب الأحمر - على تكوين ساكن ومتماثل حول المركز. ومرحلة شبه النجم هى
عملية ملازمة لعملية الاستقرار والتقويم هذه.

ويختتم كتاب هابل العظيم (عالم السدم)^{٩٦}، بهذه الكلمات: "لدى الأجواز
القصية، تتضاءل معارفنا، بل تزدوى وتشحب بسرعة. وفى خاتمة المطاف نصل
إلى تخوم معتمة، وهى منتهى حدود تلسكوباتنا. فهناك لا نقيس سوى الظلال،
متلمسين سبلنا بين الأشباح فى صورة أخطاء فى قياساتنا وسعيننا وراء دلائل
وعلامات نادرة ما نعثر فيها على ما يشفى الغليل. ولكن سعيننا سيستديم حتى نكل
وتعجز تجاريبنا وتسلمنا إلى اللجوء إلى عالم الخيال والتأمل". ومستمر هو هذا
السعى مع كل مراقب وأجهزة استشعار أعلى قدرة يتم تركيبها. فأفكارنا عن نشوء
الكوازارات ما زالت نوعية غير كمية، ويمكننا أن نؤكد لها (أو نفندها) إذا
ما توفرت لدينا أرصاد أفضل لمجرات ذات حيود عال صوب الأحمر،
ولمستضيفات" أشباه النجوم ذات القيم z العالية وذلك أكثر من مجرد النشاط
بالمركز. إن البيانات التجريبية تتقدم بسرعة، والعلماء المنظرين يبتون طائفة من
الأفكار قد لا تكون بالضرورة متوائمة، لكنها تدفع فى محصلتها النهائية بمفاهيمنا

إلى الأمام. وطبيعة النشاط داخل مراكز المجرات مازالت غامضة بعض الشيء. ولكن الأسئلة المحورية هي التي تحتل - على الأقل - بؤرة اهتمامنا في الوقت الراهن.

في عام ١٩٧٥ كتب شاندراسيخار: "في كل حياتي العلمية، كانت أعظم الخبرات إنهاكاً لي هي التحقق من أن الحل المضبوط لمعادلات آينشتاين للنسبية العامة والتي اكتشفها الرياضى النيوزيلاندى روى كير Roy Kerr، يعطى التمثيل الدقيق المطلق للأعداد التي لا يذكرها أحد من الثقوب السوداء الكثيفة التي يكتظ بها الكون". بل لقد تبين بوضوح أكبر الآن أن هناك حقاً العديد من الثقوب السوداء الضخمة بقدر ما هناك من مجرات والجهود الرامية إلى فهم العمليات الفيزيائية المرتبطة بها: التضام، واضطرابات النجوم المدية، والموجات الجذبوية، إلخ، قد تطلعنا - مكافأة لنا - على بعض التأثيرات ذات العلاقة بنظرية النسبية والتي تتيح لنا أن نختبر نظرية آينشتاين في نموذج المجال القوى strong field regime.



الباب الخامس

بعض وسائل وأدوات الاستشعار والمخلفات

من الكون ذي الانزياح الكبير صوب الأحمر

٥- ١ الكوازارات.. بوصفها وسيلة لقياس وسبر الغاز المتداخل.

٥- ١- ١ هل يتسم الفضاء الوسيط بين المجرات بالتجانس؟

نلمس - في أطيف الكوازارات ذات القيمة $z < 2$ - انزياح الإشعاع المنبعث الواقع على الجانب الأزرق من خط (ألفا ليمان) صوب النطاق المرئي (شكل ٣ مثلاً). ولهذا الرصد البسيط دلالات مهمة فيما يخص الوسط ما بين المجرات "Intergalactic medium"، تم التعرف عليها منذ ١٩٦٥، وارتبطت باسمي جن Gunn وبترسون Peterson^(٩٨). ومساحة مقطع الامتصاص عند خط رنين^(*) ألفا ليمان متسعة لدرجة لا يتمكن معها مثل هذا الإشعاع من أن ينفذ إلينا إلا إذا قلت كثافة الهيدروجين المحايد (HI) إلى حدود 10^{-22} سم^{-٣}. وكم سيكون مذهلاً لو كان نشوء المجرة قد أفرغ الفضاء ما بين المجرات تماماً بحيث وصلت كثافة الغاز إلى هذه الدرجة من الضآلة. والتفسير الأكثر رجحانا هو أن الكون يتخلله الإشعاع فوق البنفسجي بكثافة تكفي للمحافظة على أى وسط منتشر ما بين المجرات في حالة تأين كاملة تقريبا مثل نطاق HII (يد^٢) المحيط بالنجوم الحارة^(**). وخلفية الأشعة فوق البنفسجية من أشباه النجوم، وربما كذلك من تجمهرات النجوم الحارة في المجرات الفتية صغيرة السن قد ينبغي أن تكون من

(*) خط الرنين Resonance line: هو خط طيفي يحدثه إلكترون قافز بين حالته الأرضية وأول مستويات الطاقة في ذرة حديد، وهو عادة أقوى خطوط الطيف وخط أطول موجة بين هذين المستويين. (المترجم)

(**) HII: هو سديم هيدروجيني عالي الحرارة (حوالي ١٠٠٠٠ درجة على مقياس كلفن) مكون من نجوم محاطة بهيدروجين وهليوم متأينين. (المترجم)

الشدة بحيث تكفى لأن تحدث ذلك، بشرط ألا يزيد إسهام الوسط ما بين المجرات الكلى فى (ى) بصورة محسوسة، عن مستوى إسهام ى - الحالى والآتى من المجرات والعناقيد.

وتقع درجة الحرارة المحسوبة للوسط بين المجرات والمتأين ضوئيا ما بين ١، ١٠×٥^٤ على مقياس كلفن، وتتوقف الدرجة المضبوطة على شكل طيف الخلفية فوق البنفسجية (والتي تحدد متوسط الطاقة لكل إلكترون فوتونى^(*)) عند حدوث تأين) وعلى تأثيرات التمدد اللاحرارى، إلخ.. وباعتبارها فكرة بديلة- نوّقت على نطاق عريض فى الأعوام السابقة، قد يكون الوسط ما بين المجرات حارا بما يكفى كى يشع أشعة سينية (أى أعلى كثيرا من مليون درجة كلفن)، ويكون التأين الناجم عن الاصطدامات (التأين التصادمى) وحده قادرا على الحفاظ على النسبة التى يسهم بها الجزء المحايد) تحت مستوى ١٠^{-٦} المطلوب. وتبدو هذه الفكرة فى الوقت الحالى مما يمكن مجرد الدفاع عنه. ففى أى وقت ينشر إلكترون حرارى حار فوتونات لينية^(**) - على سبيل المثال ترتفع الطاقة المتوسطة للفوتون من فوتونات خلفية الموجات بالصغر بمقدار Δ ط - ط حيث Δ = بو. د ÷ ك، س^٢. ونحن نعرف الآن أن التشوهات فى طيف خلفية الموجات بالصغر نتيجة جسم أسود مضبوط تقل عن مستوى ١٠^{-٦}، ويحد هذا بشدة من التاريخ الحرارى للغاز فيما بين المجرات ويحصره عند $d < ١٠^{-٦}$ كلفن. والغاز الوحيد الساخن سخونة كافية ليشع أشعة سينية يوجد فى التجمعات والعناقيد المجرية، حيث كان قد سخن بالصدمات shock heated فى خلال الانكماش والتقويم.

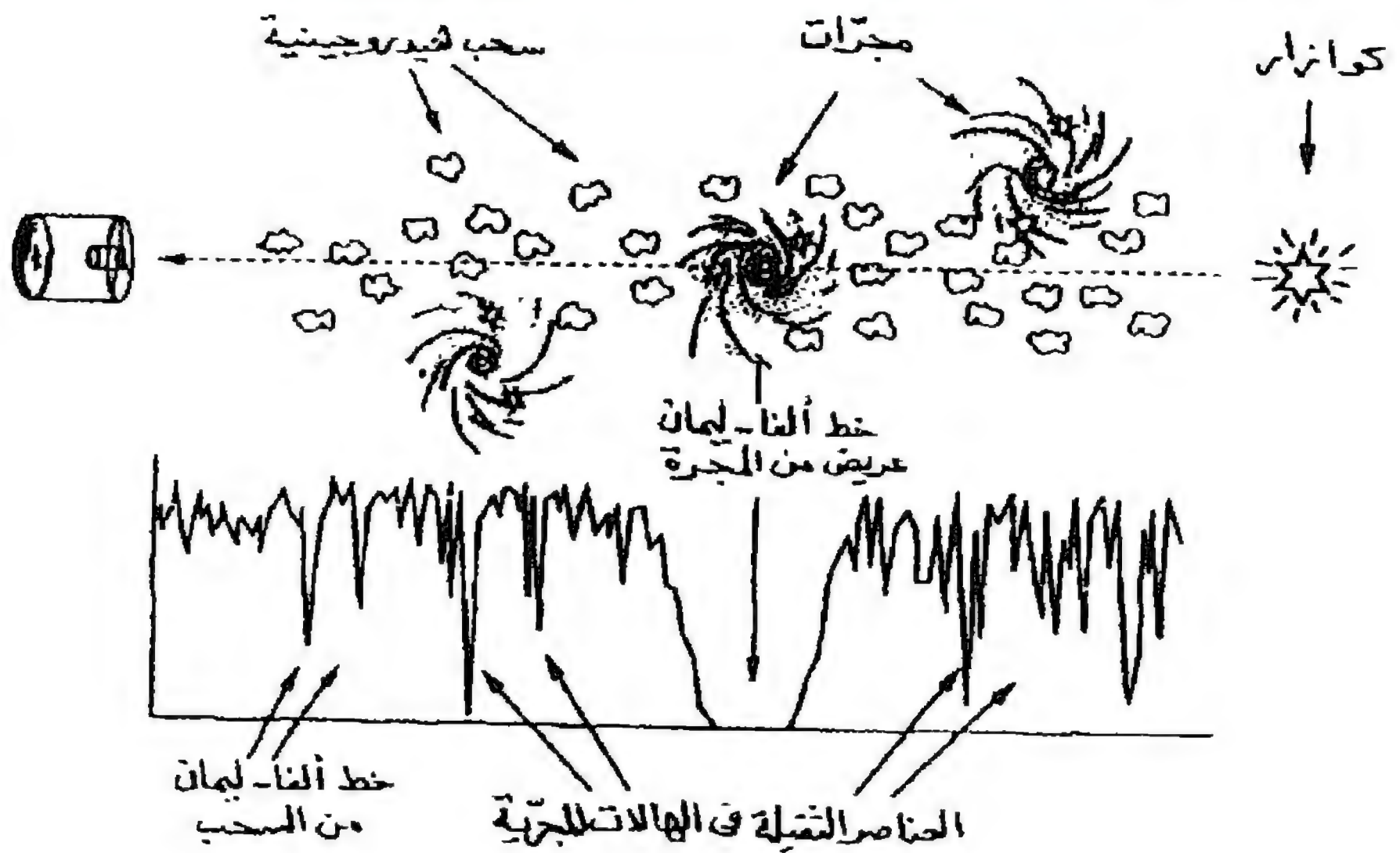
٥-١-٢ الغاز الموزع توزيعا غير متجانس: (غابة أفاليمان)

لقد اتضح أن فكرة تجانس الوسط بين المجرات مجرد وهم، وخواصه الآن قد قيدت بشدة ولكن حتى فى الحقبة التى تم سبرها عن طريق الكوازارات ذات

(*) الإلكترونات لفوتونية: إلكترونات تتبعث من سطح معينة لدى سقوط أشعة للضوء عليها. (المترجم)
 (***) الفوتونات اللينة soft photons: هى فوتونات ذات طاقة أقل من طاقات الجسيمات التى تسهم فى عملية تشتت معينة. (المترجم)

قيمة ز عالية يجب أن نتوقع أن تتركز الباريونات في المجرات الابتدائية والتكوينات الأخرى. وهناك العديد من الأدلة على ذلك.

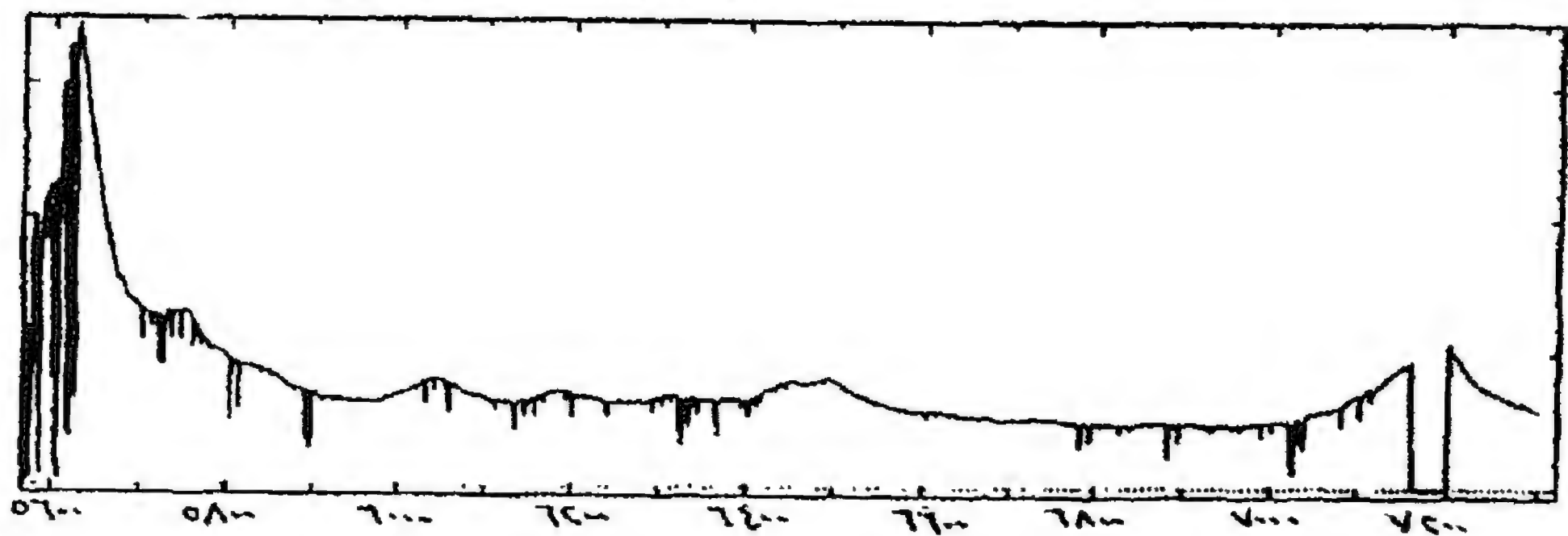
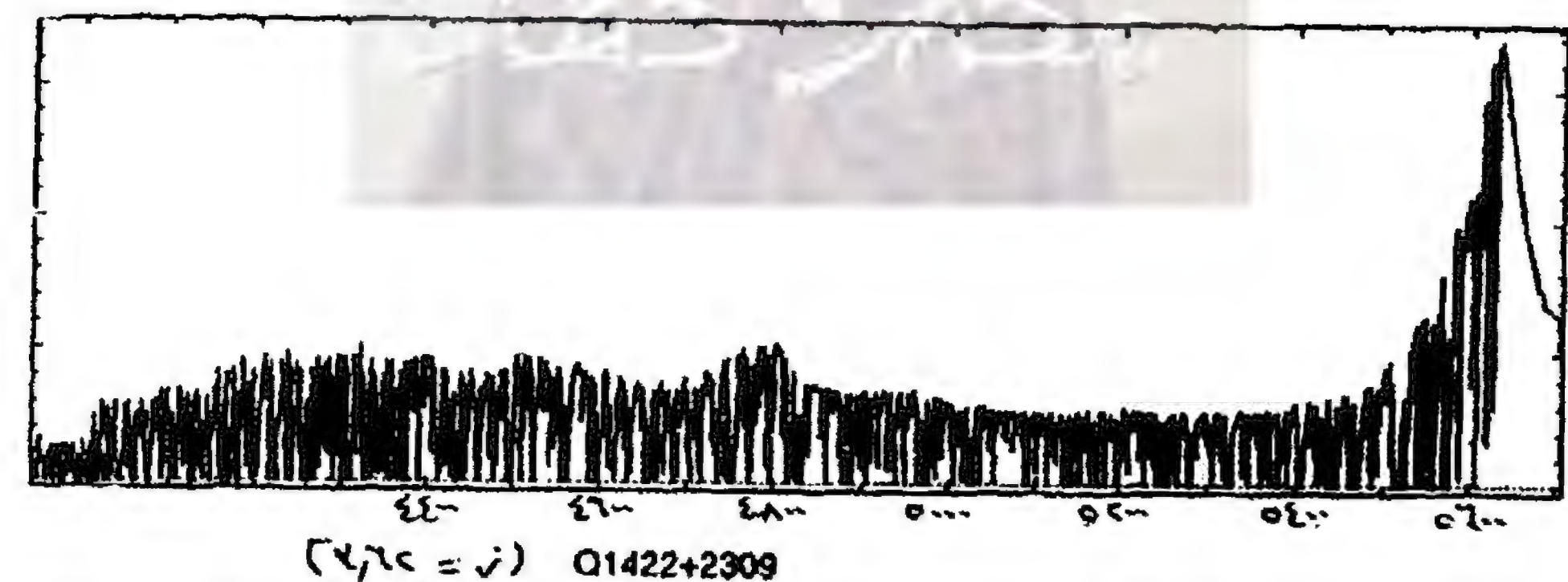
وعلى الرغم من أن أطباق الكوازارات لا تعطي إلا التزر اليسير من الدلالة على أى عتامة منتظمة يمكن نسبتها إلى وسط سلس ومتجانس بين المجرات، فإنها تكشف عن أعداد ضخمة من ملامح الامتصاص نتيجة تركيزات الغاز عند انزياحات مختلفة صوب الأحمر على امتداد خط الإبصار^(٧). والتقدم الذى أحرز فى تفسير ملامح الامتصاص هذه، والذى يصوره - تخطيطا - شكل ٢٧، لم يحبطه - لحسن الطالع - ضعف استيعابنا لخواص الكوازارات الأصلية: فالكوازار نفسه يقدم فقط الضوء الذى يصلح باعتباره أداة استشعار لظروف الوسط المتداخل. وفى حالات نادرة، بمعدل خط إبصار واحد بين كل عشرة، نعثر على خطوط امتصاص بالغة العرض والعمق، يسببها الهيدروجين المحايد HI (يد ١) بكثافات عمودية تبلغ مستوى ١٠ سم^٢. وربما يتضمن هذا مجرة ابتدائية أو قرصا مجريا ابتدائيا.



شكل (٢٧)

رسم يوضح الثراء في المعلومات الذي يمكن أن تسفر عنه ملامح الامتصاص في أطيف الكوزارات. يمكن أن تفرز المجرات المتداخلة خطوط امتصاص نتيجة العناصر الكيميائية المتعددة، على أن هناك بالمثل عددا كبيرا من السحب الأصغر، التي تفرز فقط امتصاص هيدروجين في خطوط ليمان. (الرسم مقتبس من دراسة غير منشورة لاستنجلر إى).

على أن منظومات الامتصاص الأضعف أكثر شيوعا بكثير. فحتى مع وصول الكثافات العمودية للهيدروجين المحايد إلى مستوى 10^{12} سم⁻² فإنها تنتج خط ألفا ليمان محسوسا، وتسفر أطيف الكوزارات ذات قيم (ز) العالية والمفرقة تفريقا كافيا، عن (غابة) من خطوط ألفا ليمان، وهو ما يعنى وجود عدة مئات من السحب على امتداد كل خط إيصار (انظر شكل ٢٨).



شكل (٢٨)

طيف شبه النجم Q1422+2309 نو الحيود صوب الأحمر $z = 3.62$ وكما رصده مرقب "كيك". وكل التركيب إلى الجانب الأزرق من خط انبعاث (ألفاليمان) حقيقى ويبين كيف بوسعنا الآن أن نحصل على أطيف ذات قوة تقريـق عالية ونسبة عالية من الإشارة إلى الضوضاء، وهو ما يكشف الستار عن المنـات -حرفيا- من خطوط الامتصاص الضعيفة فى (الغابة). (صورة الطيف بتصريح من ل.و. سارجينت).

ويمكن رصد (غابة ليمان) هذه بصريا بين قيم حيود صوب الأحمر بين ٨,١، وأكثر من ٤,٥. وقد درست القيم الأقل للحيود نحو الأحمر والتي يجب أن تقع الخطوط بموجبها فى النطاق فوق البنفسجى من خلال تلسكوب هابل الفضائى. وتغدو (الغابة) أكثر كثافة نحو الحيودات الكبرى صوب الأحمر، مما يستدعى أن تكون السحب المناظرة أكثر اعتيادية وأقل فى درجة تأينها فى المراحل الباكرة.

والعلاقة بين السحب ذات الكثافة العمودية المنخفضة المستدل عليها، وبين المجرات أقل وضوحا. وأكثر الفرضيات جاذبية ^(٩٩) هى أنها نتيجة غاز ساقط فى آبار طاقة وضع ضحلة مصحوبة بتجمعات تحت مجرية من المادة السوداء (هالات بالغة الصغر ذات سرعة تقويمية ع ق تقع فى النطاق ٢٠ - ٥٠ كم / ث)، تتطور مع الزمن الكونى طبقا لتنبؤات نموذج المادة القائمة الباردة. وحتى إذا وصل معامل الحيود صوب الأحمر (ز) إلى ٥، فمن شأن المادة القائمة أن تكون ذات عدم تجانس بالغ على مستوى المقاييس تحت المجرية، والغاز المتأين ضوئيا ستكون له سرعة داخلية من ١٥ إلى ٣٠ كم/ث، وسيهوى داخل آبار طاقة الوضع الجنبوية بسبب أية تكتلات من المادة القائمة التى سرعتها التقويمية (أو سرعة إفلاتها) أكبر من هذا المقدار. وفى نموذج المادة القائمة الباردة تحقق هذا الشرط كل الهالات شديدة الصغر التى تتكون ولها كتل تساوى 10^9 ك. م. أو تزيد عليها.

ومعروف أن الجزء من الغاز المحايد المتشتت عند $z > ٥$ يكون -كما أكدنا سابقا- بالغ الصغر (نحو جزء من المليون). بيد أن معدل عودة الاندماج فى

منطقة بالغة الكثافة يكون أعلى، في حين يبلغ المثل معدل التأين الضوئي بفعل خلفية الأشعة فوق البنفسجية. والجزء المحايد تبعاً لهذا متناسب مع الكثافة، ومن ثم فإن كثافة الهيدروجين HI تعتمد على مربع الكثافة الكلية. وأى غاز قد استقر على حالة التوازن مع هالة المادة القاتمة الصغيرة المقومة سيكون له مائتا ضعف الكثافة المتوسطة. وستكون كثافة الهيدروجين HI تبعاً لذلك أكثر من 10×4 مرة الكثافة المتوسطة، وسيطبع خط امتصاص (ألفا ليمان) شديد القوة على خلفية مستمرة من الإشعاع يمر خلاله.

والخطوط الضعيفة المتعددة والبعيدة لا بد وأنها بسبب الغاز الذى هو أكثف ببضع مرات من القيمة المتوسطة. ومن شأن المجال الجذبوى للهالات متناهية الصغر وغيرها من التكوينات الأولية أن يبعد هذا الغاز عن التجانس، لكن فى حالة ديناميكية أكثر من السحب المقومة سلفاً.

وقد تم مؤخراً عمل محاكاة بقوى تفريق مكانية كافية لدراسة هذه الظاهرة^(١٠٠). وتظهر فى الغاز ملامح مميزة بشكل خيوط أو شعيرات مع تدفقات للغاز نحو الداخل صوب الهالات متناهية الصغر. ويبدى هذا الامتصاص المتنبأ به عبر خطوط الإبصار توافقاً ممتازاً مع غابة خطوط (ألفا ليمان) المرصودة فيما يتعلق بالنسبة بين أعداد الخطوط القوية والضعيفة، الخ.

والمقياس العرضى للسحب يمكن تقديره من الأمثلة التى يتعرض فيها الكوازار الخلقى للتأثير العدسى بالجاذبية والذى يحدث بفعل المجرة المتداخلة. وطيوف الامتصاص لكلا الصورتين والمناظرة لخطوط الإبصار التى تفصلها حوالى ١٠ كيلو بارسك تتشابه للغاية^(١٠١). ويضع ذلك حداً أدنى للأحجام النمطية للسحب والخيوط التى تتوافق مع معيار المقياس المتوقع والمسافات ما بين الهالات شديدة الصغر.

وتتضاءل هذه (الغابة) فى اتجاه الحيودات الأقل صوب الأحمر للعديد من الأسباب. ومن الواضح أن التمدد الإجمالى يميل إلى تخفيف (خلخلة) الغاز، ومن ثم ولمعدل تأين محدد، إلى تخفيض نسبة الهيدروجين المحايد. إلا أن التنامى المستمر للتشكيل المتكون يعقد التطور، مما يؤدى إلى تراكم مطرد للغاز فى المجرات والمنظومات على مستوى الأبعاد الكبيرة: والهالات شديدة الصغر تتشكل حيثما تستدير وتقوم تكتلات المادة القائمة الباردة، لكن هذه الهالات تختفى عندما تندمج معا لتكون هالات أكبر ذات آبار طاقة وضع أعمق (١٠٠، ١٠٢).

وهناك أثر إضافى مهم، وهو التغير مع الحيود نحو الأحمر فى الشدة وطيف العزم الزاوى لخلفية الأشعة فوق البنفسجية JUV من الكوازارات والمجرات الصغيرة. وعند قيم الحيود صوب الأحمر $z > 2$ ، ولدى انقضاء حقبة الكوازارات الزمنية (انظر الفصل الرابع)، يميل العزم الزاوى للفوق بنفسجية JUV إلى الانخفاض، ومن شأن هذا أن يزيد من نسبة الجزء المحايد فى الغاز لدى قيم (ز) الأقل، بحيث يلغى -جزئيا- التأثير الأول المتوقع.

٥-٢ الحقبة الزمنية $z < 5$

٥ - ٢ - ١ كيف انقضى عهد (العصور المظلمة)؟

لبضع سنوات، عرفنا عن الكوازارات ذات معامل الحيود صوب الأحمر حتى القيمة ٥، وقد يصحب الكوازارات نفسها مجرات غير نمطية (بل وحتى استثنائية)، بحيث يتعذر الربط ما بين خواصها المتميزة، والاتجاهات العامة لعملية تشكّل المجرات. وما هو أكثر مدعاة للدهشة بوجه خاص عن التطورات الحديثة هو أن التكوين البنائى وتجمهر المجرات الاعتيادية يمكن حاليا استشعاره لدى قيم حيود مماثلة صوب الأحمر: إن الترابط القوى بين مراقب هابل الفضائى ومراقب

(كيك) قد أمارط اللثام عن العديد من المجرات ذات قيمة $z < 3$. كذلك فإن ملامح الامتصاص في أطيف الكوازار (غابة ليمان وما إليها)، تسبر تاريخ أسلوب التجمهر ودرجة الحرارة لعينة نمطية من الكون على مقياس المجرات وعلى مقاييس أصغر.

هذا التّقدم في سبر الأحداث الكونية بالعودة للوراء حتى القيمة $z = 5$ للمعامل z ، يجلب إلى بؤرة الاهتمام بدرجة أكبر الغموض الذي يكتنف ما عساه حدث لدى القيم الأعلى من الحيود نحو الأحمر، بين المليون سنة ($z = 1000$) والبلون سنة ($z = 5$). وحينما ابتعد الإشعاع الابتدائي إلى ما تحت بضعة آلاف درجة مطلقة، تحول إلى الناحية تحت الحمراء. عندها دخل الكون في عهد مظلم، استدّام حتى بدأ تشكّل أول تكوينات محكومة^(*)، فانطلقت طاقة جذبوية (أو نوع غير معروف من الطاقة) لتتير الكون من جديد. ترى لكم استمرت تلك العصور المظلمة؟ إلى أى مدى بكرت هذه التكوينات بالتشكل، وكيف كانت تبدو؟

مما نستنتجه بصورة مباشرة، المقدار التراكمي من النشاط لدى قيم الحيود الأعلى صوب الأحمر. ولا بد أن ما يكفى من الإشعاع فوق البنفسجي قد تولد بعد $z = 5$ ، كي يتأين الوسط ما بين المجرات ويبني العزم الزاوي لخلفية الأشعة فوق البنفسجية والتي يمكننا الاستدلال على شدتها لدى $z = 5$ رأساً من النماذج في (غابة ليمان) وما إليها. وقد يكون إجمالى ما انبعث من إشعاع فوق بنفسجي عند $z < 5$ قد تخطى بكثير هذا الحد!، فلا بد وأن الكثير منه قد فقد خلال العمليات المتكررة لإعادة التكوين في السحب الكثيفة والامتصاص الموضعي في مصادر الإشعاع وما إلى ذلك.

والمصدر الأكثر ترجيحاً لهذا الإشعاع فوق البنفسجي هو جيل مبكر من النجوم تكون في منظومات على مقياس صغير مقارنة بمجرات اليوم^(١٠٢)، ربما

(*) التكوينات المحكومة هي تلك التي تترابط معا تحت تأثير واحد مشترك كالجاذبية. (المترجم)

فى هالات المادة القائمة ، تلك الهالات شديدة الصغر ذات الكتلة فى حدود 10^9 ك ش .
(عند قيم أقل للحيود صوب الأحمر ربما تكون الكوازارات المصدر الأساسى
للأشعة فوق البنفسجية، إلا أن تكونها قد يحتاج إلى منظومات مقومة ذات كتلة
أكبر و آبار طاقات وضع أكثر عمقا، وربما انطلقت لذلك من نجوم باعتبارها
المصدر السائد للإشعاع فوق البنفسجى لدى قيم انزياح صوب الأحمر أقل من ٥).

ولم يتأين الغاز ما بين المجرات بالضوء بشدة فحسب عند $z=5$ ، ولكن
ملاحظ الأدلة على امتصاص الكربون فى أطيف أشباه النجوم تومئ إلى أن
متوسط العناصر الثقيلة بلغ مستوى ١% مما تحتويه الشمس منها عندئذ (١٠٢ب).
وهذه الدرجة من (التلوث) تقارب ما يمكن توقعه إذا كانت إعادة السخونة والتأين
من جراء نجوم من رتبة B&O (*) اختتمت حياتها فى هيئة مستعرات عظمى.

وربما كان خارج نطاق التقنية الحالية أن نستشعر "مجرات تحتية أو دون
مجرات" منفردة، قد تحتوى كل منها فقط على بضعة آلاف من النجوم من رتبتي
B&O ، بانزياح نحو الأحمر خارج نطاق $z=5$ (ولعل الأمل الوحيد يكون فى
استشعار بعضها التى قد يتفق أن تكون قد كبرت من خلال التأثير العدسى الجذوى
لعنقود مجرى قريب) (**).

على أية حال ربما تسنح فرصة أكبر قليلا فى استشعار أحد النجوم عندما
ينفجر متحورا إلى مستعر أعظم، فيغدو - إلى حين - أكثر سطوعا من الدون -
مجرة التى يقبع فيها. وبالإمكان حساب عدد المستعرات العظمى التى قضت نجبتها
فى كل حيز مناظر، رأسا باعتبارها نتيجة مباشرة للمحصلة المستدل عليها من
الأشعة فوق البنفسجية ومن العناصر الثقيلة: ربما كان هناك مستعر واحد،
أو العديد منها فى كل سنة فى كل دقيقة قوسية مربعة من السماء. ولعلها - فى

(*) تصنف النجوم طبقا لدرجة حرارة سطحها وفقا للترتيب التالى (من الأسخن للأبرد):
O - B - A - F - G - K - M - R - N فالنجوم من رتبتي B&O هى أعلى النجوم حرارة. (المترجم)
(**) انظر شكل (١١). (المترجم)

المقام الأول من النوع الثانى^(*): ومنحنىها الضوئى -نمطيا- مسطح نو قمة قصوى تستديم لفترة ثمانين يوما. وللمرء أن يتوقع -أخذا فى الاعتبار تباطؤ الزمن- أن يقترب المستعر الأعظم من قمته العظمى لمدى سنة تقريبا. ومن الممكن أن تستمر الانفجارات بصورة مختلفة عندما يكون الغلاف النجمى -بصورة جوهريّة- خاويا من المعادن، مما يسفر عن منحنيات ضوئية مختلفة، ومن ثم فآية تقديرات لإمكانية الاستشعار هى فقط مبدئية. على أية حال، باعتبار منحنى ضوئى قياسى من النوع الثانى (وهو بالطبع توقع يتسم بالتشاؤم) يحسب الشخص أن هذه الأجرام ينبغى أن تكون ذات قدر ٢٧ فى نطاق حزمة K&I وحتى خارج نطاق ز=٥. ومن شأن مهمة استشعار الأجرام هذه أن تكون سهلة بفضل الجيل الجديد من المراقب الفضائية^(١٠٢). أما بالإمكانات الحالية فمهمة الاستشعار جد هامشية.

وكإضافة تأملية منى ألاحظ أن نسبة ضئيلة لا تتعدى أجزاء من المائة من شعاع جاما المرصود ينبعث ومن المعتقد أن ومضات شديدة تحتوى على التهام لمنظومة ثنائية مدمجة، أو نوع غير معتاد من السوبر نوفا يمكن أن يشع تيارا من الجسيمات (الخاضعة لنظرية النسبية) قد تأتى من انزياحات صوب الأحمر فى حدود قيمة للمعامل =٥. ويتوقع هذا إذا كان معدل الانبعاث - بوصفه دالة فى الحقبة الكونية - يقتفى أثر معدل تشكل النجم. وفى وقت تدوين هذه الكلمات، ما زالت بياناتنا عن التوهجات البصرية وبالأشعة السينية التالية جد شحيحة. لكن هناك - على الأقل - إمكانية مثيرة للشغف لوجود ومضات عارضة، تفوق فى سطوعها المستعر الأعظم من حيودات حمراء كبيرة للغاية.

(*) تصنف المستعرات العظمى (السوبر نوفا) نمطيا إلى نوعين: النوع الأول وهى التى فقدت غلافها الهيدروجينى فلا يوجد فى أطيفها أثر للهيدروجين (كالأقزام البيضاء) والنوع الثانى التى يوجد بأطيفها هيدروجين، وهى تمثل نهاية حياة نجم عملاق عن طريق انهياره الجانبيه. (المترجم)

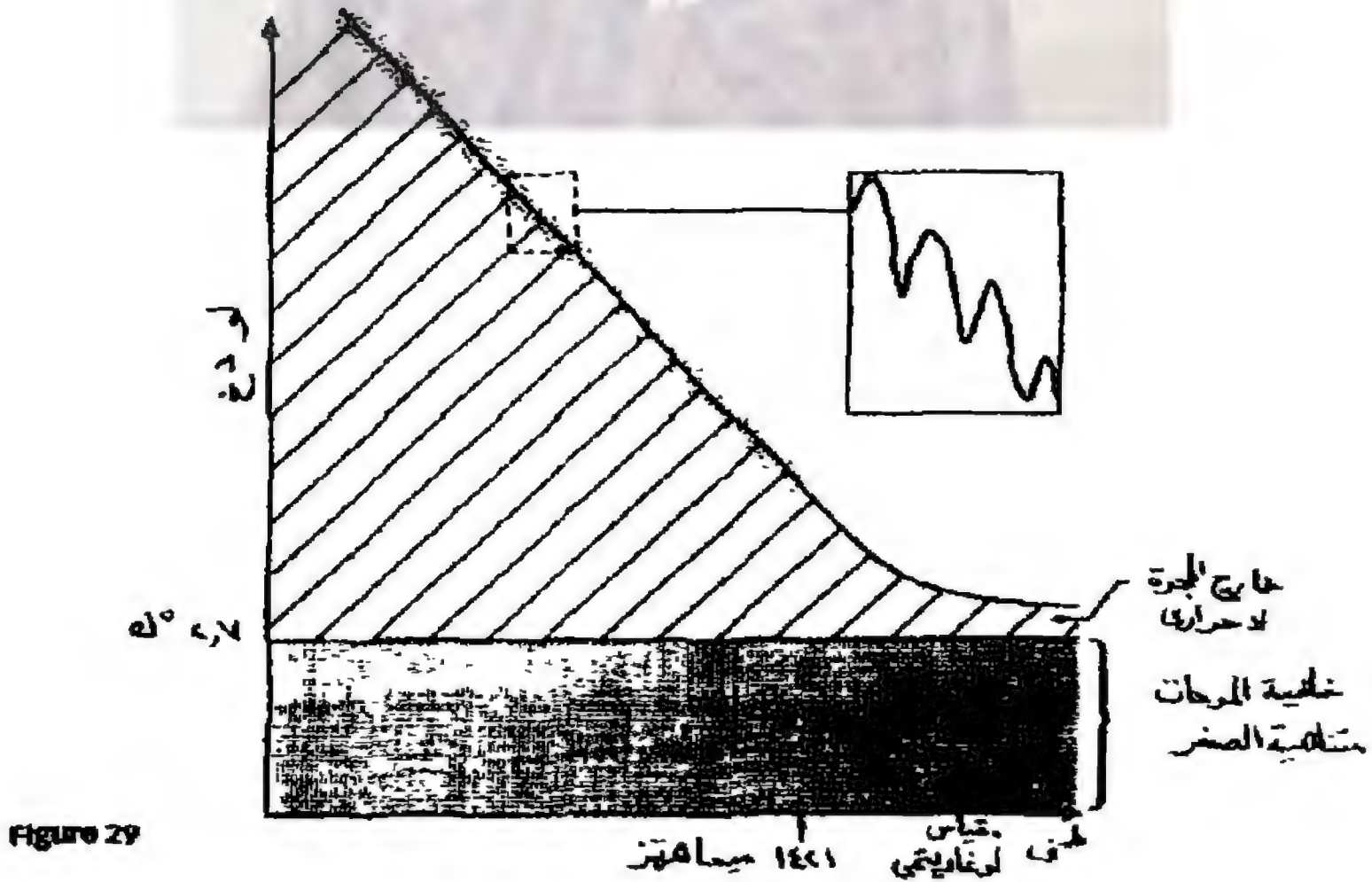
٥-٢-٢ متى بدأت عملية إعادة التسخين؟

في الدراسات حول نظريات نشأة الكون مثل نموذج "المادة القاتمة الباردة" القياسي، ليس من المحتمل أن تكون عملية عودة السخونة إلى الوسط ما بين المجرات من جديد قد بدأت قبل حقبة $z=20$ بكثير. على أية حال، فإن هناك نماذج نظرية أخرى (يرجى الرجوع إلى العمود الثالث في شكل ١٣)، تفترض أن أول ضوء قد بزغ في وقت أكثر تبكيرا، ومن المتصور أنه كان هناك مدخول حرارى مبكر - من الجسيمات المتحللة مثلا- (١٠٢). وما لم تكتشف كوارارات ومجرات وأجرام كونية أخرى لدى قيم للحيود للأحمر أعلى بكثير من المرصود حاليا، فستبقى معلوماتنا - للأسف - مقصورة فيما يختص ببداية الاحترار أو بدء انبثاق الإشعاع المحدث للتأين.

ولحقبة عودة السخونة هذه أهميتها في تفسيرات التقلبات الزاوية في خلفية الموجات الميكرونية (١٢، ٦٢، ١٠٤). ولقد افترضت - ضمنا - في الفصل الثالث (بند ٣-٥) أن هناك احتمالا ضئيلا لتشتت الفوتون أو استطارته في الفترة ما بين مرحلة عودة الاندماج والآن: وتخبرنا قياسات خلفية الموجات الميكرونية آنئذ عن تقلبات طاقة الوضع الجذبوية، وتأثيرات دوبلر على سطح التشتت الأخير لدى قيمة $z=1000$. ولو تم التعرف -بغثة- على الوسط عند حيود للأحمر قيمته z مثلا، فإن العمق الاختياري عند z من جراء تشتت الإلكترون والذي يتناسب مع الدالة $[1 - \frac{1}{2}(z+1)^2]$ y - هـ - هـ، قد يزيد عن ٢، ٠ أو يساويها تقريبا إذا كانت z أكبر من ٢٠ أو تساويها. ومن شأن ذلك أن يؤثر في تأويلنا للتقلبات الزاوية في خلفية الموجات الميكرونية. وعلى وجه الخصوص فالتقلبات على المقياس الزاوى أقل من ٥ درجات ٠ وهى قيمة مصيرية لاستشعار التقلبات على مستوى المقاييس المناظرة للعناقيد المجرية وما فوق العناقيد وللفرقة بين النماذج الكونية المختلفة) من شأنها أن تضعف قياسا على التقلبات مع الزاويا الكبيرة. والتشتت لدى قيم z التى تقل عن z سينعكس أثره على التقلبات الثانوية (مع استقطاب واضح مميز) لإشعاع الخلفية.

٥ - ٢ - ٣ الهيدروجين المحايد ما وراء $z=5$

هناك تقنية طريفة يمكننا بها استكشاف انتشار الهيدروجين المحايد لدى قيم المعامل z الأعلى من ٥، ومن ثم استشعار التكوينات ذات الأحياز الكبيرة ما قبل اضطرام النجوم والكوازارات الأولى وتسخينها أو (إفائها) مادة الكون المبكر. وتعتمد هذه التقنية على دراسة خط الـ ٢١ سم للهيدروجين الذري المنتشر. فباعتبار درجة حرارة اللعان، يسهم هذا الخط بدرجة أقل من إسهام خلفية الموجات الميكرونية ودرجة حرارتها 2.7° مطلقة - وبالمثل يقل إسهام هذا الخط عن خلفية الموجات نتيجة للانبعاث السينكروتروني (*) من المصادر الراديوية من خارج المجرات. ومهما يكن من أمر فلعل من الممكن التوصل إلى نسبة مساهمة الخط ذي الطول ٢١ سم، نظرا لتكوينه الزاوي المتميز والمقرون بتكوين دقيق في فراغ التذبذب (انظر شكل ٢٩) والشرح المقترن به).



شكل (٢٩)

(*) أى إشعاع فلكي من الإلكترونات، والسينكروترون أصلا هو معجل للجسيمات المشحونة في مدار دائري متزامن مع المجال المغناطيسي. (المترجم)

الخلفيات السائدة خارج التجمعات المجرية في الحزم الراديوية هي إشعاع الجسم الأسود عند درجة حرارة 2.7 على مقياس كلفن (وهو الإشعاع المتبقى من حقبة الكون الأولى)، وخلفية السينكروترون اللاحرارى والتي تتناسب درجة لمعانها مع $z^{-2.7}$. وعند معامل حيود (ز) أكبر من 5 قد يكون الغاز الموجود بين المجرات أساسا هو الهيدروجين المحايد. وإذا كان الأمر كذلك فإن الهيدروجين المحايد ذا القيمة العالية للمعامل ز، ينطلق و/ أو يمتص من خلال ترحزح خط 21 سم، وبالتبعية يغير درجة حرارة الخلفية. ورغم أن هذا التأثير من الضالة بحيث يصعب استشعاره إذا كان الهيدروجين المحايد موزعا توزيعا متجانسا، فإن تكتلات الغاز في عناقيد من شأنه أن يخلق توكونا طيفيا وزاويا في انخلفية. وبالمسح الزاوى باستعمال نطاق ضيق من الترددات فإن التكوينات في الهيدروجين المحايد ذى قيم (ز) المرتفعة يمكن استشعارها. وبمقارنة التكوينات الزاوية التى تشاهد في خريطين مرسومين لدى تذبذبين مختلفين اختلافا طفيفا، يمكن للمرء أن يميز بين التأثيرات الناجمة عن المصادر المتفردة المنفصلة المحددة غير الحرارية (والتي قد تربط بين الخريطين)، وبين تلك التأثيرات الناجمة عن الهيدروجين المحايد (حيث لا ترابط بين الخريطين).

ويسهل حساب الإسهام فى درجة حرارة الخلفية الراديوية لدى 1420 $(z+1)^{-1}$ ميجاهيرتز نتيجة لتوزيع الهيدروجين المحايد المنتظم، لحيود نحو الأحمر مقداره ز من العلاقة: $H_{II} = 0.1 (z+1)^{1/2} H_I$ ف درجة كلفن (4).

ويعتمد المعامل ف على درجة حرارة التدويم $^{(*)}$ spin temperature $^{(*)}$ ، والتي يجرى تحديدها بتوفيق معامل بولتزمان مع التجمهرات النسبية للحالتين فائقتى الدقة.

(*) هي درجة حرارة تعبر عن درجة حرارة الهيدروجين المحايد فى الفضاء بدلالة حالتى تدويم إلكتروناته المحتملين (إما فى نفس اتجاه تدويم البروتون أو فى عكسه). (المترجم)

والمعامل ف يعادل الواحد الصحيح إذا تخطت درجة حرارة التدويم درجة حرارة الإشعاع (ولو لم يكن هناك مدخول من الحرارة على الإطلاق إلى الغاز الأولى قبل الحقبة المناظرة، لكانت درجة الحرارة الحركية^(*) - وبالتالي درجة حرارة التدويم كذلك - أقل من درجة حرارة الإشعاع، ولظهر الغاز كامتصاص على خلفية من إشعاع الجسم الأسود، وتبلغ قيمة ف حينذاك $\frac{-2.7(z+1)}{r}$ ولو كان لأية منطقة على مدى امتداد خط الإبصار كثافة أعلى من المتوسط، أو لو تمدد بمعدل أقل من متوسط معدل هابل، لتعزز إسهام خط الـ ٢١ سم. وللتقلبات الخطية فإن التعزيز الجزئي $= \frac{\Delta \theta}{\theta} \approx \frac{1}{2}$ والمقدار $\frac{1}{2}$ الإضافي يأتي من تقلص معدل التمدد مع اضطراب متعاضم على الكثافة، والذي يزيد أكثر من كثافة الهيدروجين العمودية لكل وحدة من مسافات الحيود الأحمر البينية، ويمكن أن تتجم عن عدم انتظام التسخين الذي يؤدي إلى اختلافات موضعية في γ ، تأثيرات يمكن رصدها حتى إذا كانت الكثافة منتظمة.

وعدم التجانس في الهيدروجين المحايد - على الأحياز الكبيرة لدى الحيودات الحمراء العالية يخلق تكويناً زاوياً وطيفياً في الخلفية الراديوية. ورغم أن المعادلة (٤) تقتضى أن يكون عدم التجانس هذا قليلاً مقارنة بالخلفية الراديوية الإجمالية المتصلة، فإنه يمكن استشعاره من خلال الاختلاف في القياسات، التي تربط ما بين الترددات القريبة والاتجاهات. والتكوين الدقيق المتوقع في فضاء الترددات من شأنه أن يميز إشارة الهيدروجين المحايد عن تلك الناجمة عن "التبقيع" في خلفية السينكروترون غير الحرارية (أو في حقيقة الأمر من التذبذبات الزاوية في خلفية الموجات الميكرونية، رغم أن هذه التذبذبات أصغر حتى من أن تستشعر عند هذه الذبذبات الراديوية المنخفضة نسبياً).

(*) درجة الحرارة الحركية: Kinetic temp هي درجة حرارة تعبر عن متوسط الطاقة الحركية للغاز، وهي دالة في ثابت بولتزمان وكتلة الجسيم وسرعته. (المترجم)

والأمل في هذا النوع من الاستشكاف بالرسم السطحي (صورة مفصلة بالأشعة لقطاع مستومعين) للعناقيد المجرية الأولى، معقود حقا على المرقب الراديوى العملاق للموجات المترية (Giant metre-wave radio telescope) الذى بناه سواروب swarup ومساعدوه بالهند^(١٠٦). فهذا الجهاز عند استكماله سيتكون من مصفوفة من ٣٤ طبقا يبلغ قطر كل منها ٤٥ مترا. والأطباق - وإن تكن غير مجهزة السطح جيدا لتصبح ذات فاعلية لدى الترددات العالية، إلا أن المصفوفة ستكون ذات حساسية تفوق بثمانية أضعاف حساسية المصفوفة بالغة الكبر very large array (VLA) لدى تردد ٣٢٧ ميجاهيرتز. وسيعمل أيضا عند نطاق ١٥٠ - ٢٥٠ ميجاهيرتز، حيث تنخفض بوجه خاص الخلفية الراديوية الصناعية، وتحديدًا فى المواقع النائية للمرقب الراديوى العملاق وينظر ذاك حيودا نحو الأحمر يتراوح ما بين ٦، ٨،٥ لخط ال ٢١ سنتيمترا. وقد صمم المرقب الراديوى هذا بحساسية تتيح استشعار العناقيد المجرية الأولى، إذا كانت لها الخواص التى تتبأت بها بعض النظريات. وتجهز حاليا خطط جادة لتنفيذ "مصفوفة كيلومترية مربعة" لها حساسية استشكاف خط ال ٢١ سم بالرسم السطحي، تفصيليا.

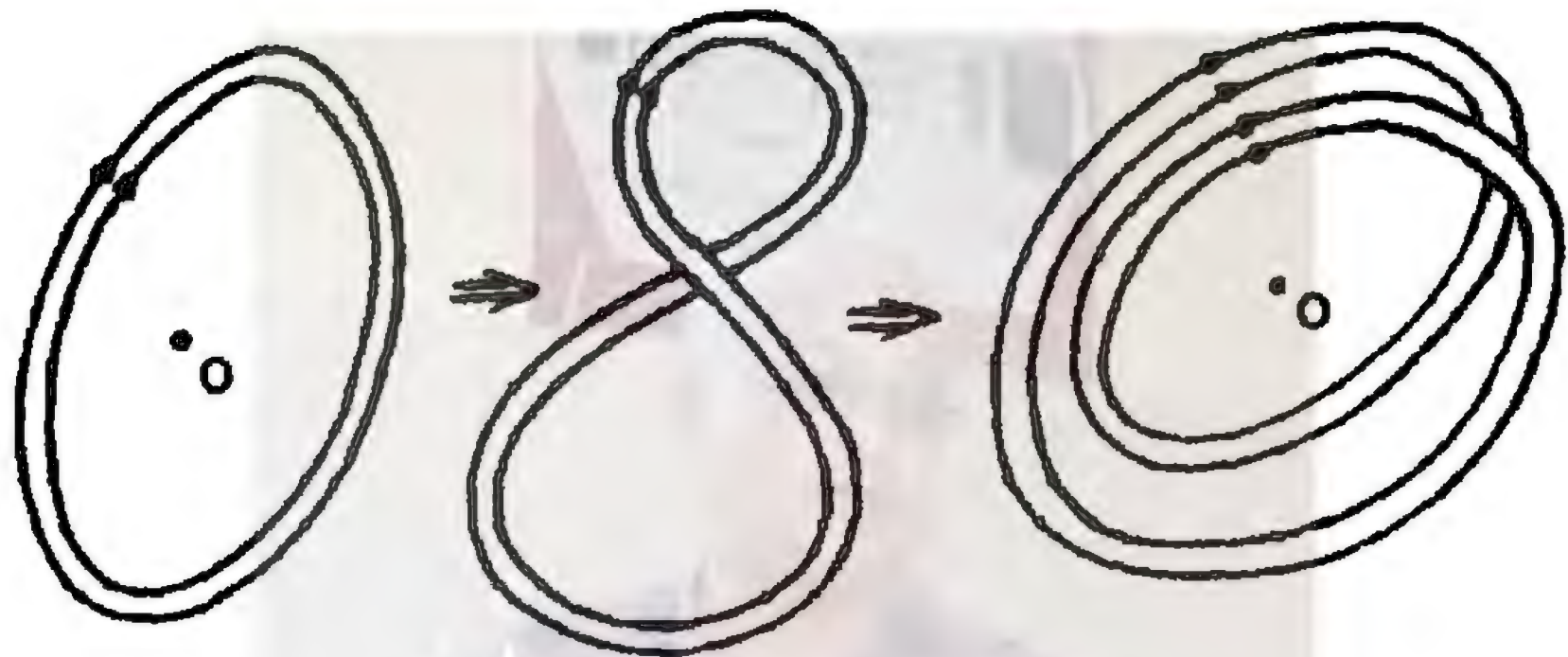
٥-٣ المجالات المغناطيسية:

٥ - ٣ - ١ "بذور" المجالات الابتدائية:

تتخلل المجالات المغناطيسية المجرات بل وحتى عناقيد المجرات^(١٠٧)، ولها تأثيراتها واسعة النطاق على عمليات ديناميكيات الغاز والإشعاع. ولعل الفضل فى قوتها الحالية يعود إلى التكبير الحادث فى فاعليتها^(*)، حيث تتحول طاقة

(*) الفاعلية أو المفعل dynamo: يقصد بها هنا النشاط فى وسط مائع fluid موصل للكهرباء، الذى يولد تيارا كهربائيا ومجالا مغناطيسيا. ومن المعتقد أن الفاعلية فى البلازما فى طبقات الشمس الخارجية، وفى لب ونبثار الأرض والكواكب الأخرى هى التى تسبب التأثير المغناطيسى لهذه الأجرام. (المترجم)

الحركة - بنسق منتظم - إلى طاقة مغناطيسية^(١٠٨). ويوضح شكل (٣٠) كيف يمكن أن تدعم الحركات الالتوائية، عروات الفيض المغناطيسى.



شكل (٣٠)

نموذج كينماتيكي مفرد (لزيلدوفيتش) يبين كيف يمكن أن يجرى تكبير الفيض المغناطيسى بزيادة فاعليته بانتظام، إذا تمددت العروات المغناطيسية ثم التوت طبقا للولبية ملائمة.

ووجود هذه العروات لا يمنع حتمية وجود (بذرة) ابتدائية للمجال المغناطيسى (وإلا لما وجدت عملية التفعيل شيئا (تتغذى) عليه، ويلوح أن حتمية وجود (بذرة) المجال المغناطيسى هذه مسلم بها على وجه العموم. وفي العديد من قضايا الفيزياء الفلكية يكون لهذه الثقة ما يبررها: وإذا كان المقياس الزمنى الديناميكي (والتكبير) قصيرا القصر الكافى، فقد يتولد عدد ضخم من الطيات. وربما يكفى لذلك تذبذبات إحصائية متناهية الصغر فحسب. على أن المجالات - على المقياس الكبير - فى المجرات القرصية يلوح أنها تطرح مشكلة أوقع فى خطورتها. فمقياس التكبير الزمنى - من رتبة المقياس الزمنى للدوران فى المدار - قد يصل إلى $10 \times 2^{\wedge}$ عام. وحتى فى الحقبة الزمنية الراهنة لم يتح الوقت سوى

لحدوث ٥٠ طية. وليس بمقدور المجال المجرى - بناءً على ذلك - أن يتعاضد ليصل إلى قوته التي نرصدها في يومنا هذا، إلا إذا كانت (بذرة المجال) من رتبة ١٠ - ٢٠ جاوس، أى شديدة الضعف، وإن لم تكن لانهائية الصغر. علاوة على ذلك، إذا اتضح أن مجالات ذات وزن وجدت حتى بالمجرات ذات قيم (ز) عالية، والتي لم تتشكل أقراصها إلا حديثاً، فمن شأن (البذرة) أن تحتاج لأن تكون أكبر بالتبعية.

ومسألة مدى السرعة التي اكتسبت بها المجالات الكونية قوتها، ذات صلة وثيقة بنواح عديدة لتشكل المجرة وتطورها. فلو لم يكن هناك مجال مغناطيسى، لتدرج تكون النجوم على نحو مختلف، سواء فيما يتعلق بمعدله، أو بتوزيع الكتل النجمية: فالمجال يعدل كتلة جينز *the jeans mass* (*)، ويساعد النجوم الأولية التي على شفا الانهيار، على أن تطرح العزم الزاوى جانباً (١٠٩) وليس بوسعنا أن نأمل في وضع نموذج مرضٍ ومقنع للتطور المجرى دون الإلمام بتوقيات تنامي المجال حتى يصل إلى قوة ذات أثر - من الناحية الديناميكية. (علاوة على ذلك، فقد يكون حتى لمجال أضعف تأثير ذو وزن من خلال تأثيره على التوصيلية الحرارية وغيرها). وإذا انقضت أزمنة عدة دورات مجرية قبل أن تنامي للمجال قوة محسوسة ديناميكياً، فقد يكون للنجوم الأكبر سناً - لهذا السبب فقط - توزيع مختلف لكتلتها. وبالمثل يتوافق السبب كى نعتقد فى أن غياب المجال المغناطيسى يؤثر على الكتل النجمية - مثلما نعتقد أن الافتقار إلى العناصر الثقيلة (والتي تؤثر فى التبريد وفى درجة العتامة) يفعل المثل، رغم أن الطبيعة الكمية لهذا التأثير غير يقينية فى الحالتين كليهما.

(*) كتلة جينز *jeans mass*: هى مقدار خرج إذا تجاوزته كتلة السحابة الغازية دخلت فى عملية من التفكك الخارج عن نطاق السيطرة حتى تتدخل قوة أخرى فتوقف هذا التفكك، وهذه الكتلة الحرجة دالة فى الكثافة ودرجة الحرارة ويعود الاسم للفيزيائى البريطانى جيمس جينز الذى درس عملية الانهيار الجذبوى للسحابة الغازية. (المترجم)

تري.. هل نشأ المجال المغناطيسي في المراحل المبكرة من "الانفجار الأعظم".^(١١٠) ؟ ربما مر الكون المبكر جدا بمرحلة انتقالية بين طورين phases مختلفين، وربما خلق هذا التحول الطوري ذاتيا- المجال المغناطيسي- مثلما يحدث عند تبريد مادة فيرومغناطيسية^(*) - ولأن الفيزياء المناظرة لذلك غير مألوفة لنا وتشح معارفنا عنها، فليس باستطاعتنا استبعاد هذا الاحتمال. ومهما يكن الأمر فإن مقياس العلاقة الطبيعية سيقصر على المقياس (س×ن) المحدود بأفق الجسيمات، ويحد ذلك بشدة من نطاق النماذج النظرية. هب- لدى زمن مبكر للغاية (ن)- أن عملية فيزيائية ما تولد مجالا على مقياس أصغر من مقياس الأفق لدى الزمن "ن"، وأن شدة هذا المجال (ع) بحيث أن $غ \div 8 \approx \pi = ف (أ د^٤)$ ، حيث ف تقل عن الوحدة، وأن الكون بالتبعية يتمدد طبقا لمعادلات فريدمان المعتادة (أى بتباطؤ). (من الجائز وضع هذا الافتراض لأن المجال، وكذلك الإشعاع الخلفي من شأنه أن يتولد بعد اكتمال أى طور انتفاخي ومن شأن كل مجال مغناطيسي قبل الانتفاخ أن يتناقص بمعدل أسي. وعندئذ وعلى المقياس الكوني نتوقع مجالا متسقا مع كثافة الطاقة:

$E(\text{للمجال}) = ف (أ د^٤)$ (الكثلة داخل الأفق عندما يتولد المجال ÷ كثلة المجرة) (٥).
ولبذرة مجال مقدارها $١٠^{-٢٠}$ جاوس، تبلغ كثافة الطاقة $١٠^{-٢٩}$ (أ د^٤).
ولكن إذا كان الانتقال الذى ولد المجال قد حدث خلال حقبة النظرية الموحدة الكبرى^(**) GUT. عندما كان الأفق كبيرا كبرا كافيا كي يشتمل على نحو $١٠^{-٤}$ (باريون)، فالنسبة فى الحد بين القوسين فى المعادلة (٥) من الرتبة $١٠^{-٦٥}$! وهكذا حتى لو كان للمجال كثافة طاقة موضعية مرتفعة (ولم تكن ف صغيرة للغاية)، فمن

(*) عند درجة حرارة معينة يحدث لمعدن الحديد تحول فيزيائى من الحالة الفيرومغناطيسية (التي يجذب فيها المغناطيس) إلى الحالة البارامغناطيسية ولا يجذب للمغناطيس فيها) وتسمى هذه الدرجة بنقطة كورى (568 م). (المترجم)

(**) هى حقبة استمرت من ١٠ إلى ٣٨ ثانية فى أعقاب الانفجار الأعظم وعندها انفصلت القوى الشديدة عن بقية القوى. (المترجم)

شأنه - على مثل هذه المقاييس الصغيرة أساسا أن يضمحل بسرعة، ولن يكون هناك فرصة للوصول حتى للقيمة 10^{-10} جاوس على مقياس مجرة أولية (ابتدائية). ويمثل هذا مشكلة شاملة عمومية، تنسب الأصل الكوني إلى مجال، حتى وإن أمكن وجود آلية ميكرو فيزيائية مقنعة. (وبطبيعة الحال يمكن تخطي هذه المشكلة لو كان هناك عدم تجانس في كل الاتجاهات، يعم الكون بمجمله).

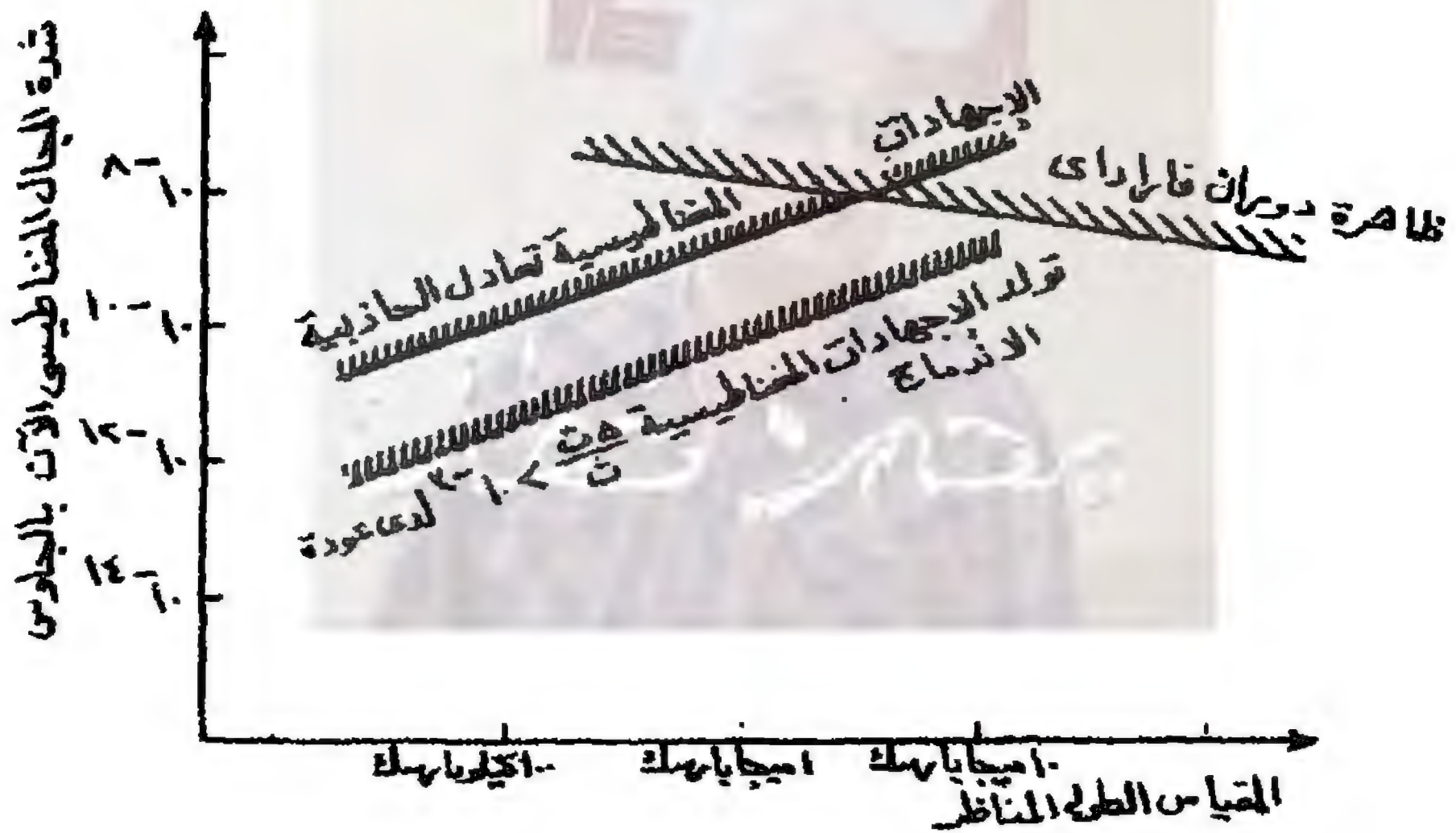
ولعله مما يجدر نكره - عرضا - كيف يمكن أن يؤثر هذا المجال الابتدائي، ذلك الذي وجد في حقبة عودة الاندماج الأولية، على العمليات الكونية. ويلخص شكل ٣٠ محددات ذلك بدلالة مقياس الطول المميز للمجال. فمجال ذو قوة مناظرة بلغت في وقت ما 10×10^{-10} ي ب جاوس (حيث ي ب هي الجزء الخاص بالباريونات في الكثافة الكونية الحرجة) من شأنه - لدى عودة الاندماج - وكذلك في كل الحقبة الزمنية التالية وحتى حدوث التسخين لمرة ثانية، أن يسهم بتأثير أكبر من نصيب الباريونات والإلكترونات. ومن شأنه -تبعاً لذلك- أن يمارس تأثيراً على كتلة جينز، ويرفع من مقدار الحد الأدنى من كتلة الجيل الأول من المنظومات المحكومة المتوقعة في كل النماذج (الهرمية) لتتألف التكوين الكوني. وعلاوة على ذلك، فحتى المجال بالغ الضعف، والأضعف من أن يؤثر في كتلة جينز، ما زالت له أهميته على المستوى الكوني. ويرجع هذا إلى أن مجالاً ذا مقياس نوعي مقداره ل سيحدث حركات (بسبب الإجهادات غير المتجانسة) في مثل سرعة ألففين^(*) Alfven speed على نفس هذه المقاييس الصغيرة.

وأي اضطرابات ناتجة في الكثافة تجاوزت سعة نذبيتها لدى ن ع (زمن عودة الاندماج) القيمة 0.001 ستصبح غير خطية من جراء عدم الاستقرار الجذبوي المعتاد، في الحقبة الراهنة. وبذلك فحتى مجال بين المجرات لا يزيد عن

(*) يقصد بها سرعة الموجات المغناطيسية في أثناء انتقالها خلال الموائع الموصلة للكهرباء كالغاز المتأين في مجال مغناطيسي. (المترجم)

مرتبة ١٠ - ١٢ جاوس سيكون -على المستوى الكونى- ذا وزن إذا كان يعود زمنيا إلى حقبة ما قبل عودة الاندماج.

والمحددات الحالية للمجال ما بين المجرات تأتي من الحدود العليا لدوران فاراداي (*) ما بين المجرات intergalactic Faraday rotation . وتعتمد هذه المحددات على طول المجال المناظر، ويصورها بشكل تخطيطي شكل (٣١).



شكل (٣١)

العوامل المحددة للمجال المغناطيسى لمقاييس الطولية المختلفة عند زمن إعادة الاندماج (ن ع) وللمجال أهميته من ناحية تفسير نشأة الكون إذا أمكنه أن

(*) ظاهرة فاراداي الدورانية Faraday rotation: يقصد بها استدارة مستوى الاستقطاب للموجات الكهرومغناطيسية في أثناء مرورها في مادة ممغنطة. وفي المجال الفلكى تلعب هذه الظاهرة دورا أساسيا فى تعيين المجال المغناطيسى للمادة ما بين النجوم. وفى ذلك يتم رصد مستوى الاستقطاب عند مرور ذبذبات راديوية خطية الاستقطاب خلال مادة ما بين النجوم. وتعتمد زاوية الدوران على شدة المجال المغناطيسى للإشعاع فى اتجاه انتشار الموجات، وسبب هذه الظاهرة وجود المجال المغناطيسى وإلكترونات حرة فى المجال الذى يمر به الإشعاع (الموسوعة الفلكية - ١٩٩٠).

يولد اضطرابات في الكثافة ذات سعة تساوى تقريبا 10^{-2} عند زمن إعادة الاندماج، فمن شأن هذه الاضطرابات أن تتطور إلى منظومات محكومة بالجاذبية في وقتنا الراهن. والنص يحتوى على شرح أكثر تفصيلا.

٥ - ٣ - ٢ حاشدات (بطاريات) المجرات الابتدائية(*)

لو لم يكن هناك مجال محسوس ذو بال في الزمن الكوني البدائي فلا بد وأن (بذور) تفعيل التضخيم كانت قد ولدت عن طريق آلية توليدية، وهو ما يستدعى دوامية^(*) ما vorticity على مقياس كبير. ولو لم تكن الاضطرابات الأولية قابلة للحركة الدائرية، كما هو الحال في أغلب النماذج، فمن شأن هذا أن ينتظر علاقات غير خطية تؤدي إلى موجات صدمية، أو إلى شكل منظومات محكومة تبذل

(*) هناك مجموعتان من النظريات فيما يختص بتفسير الأصل في وجود المجال المغناطيسي المرصود الآن على أسطح العديد من النجوم: فإما أن يكون هذا المجال ميراثا من حقبة مبكرة، وإما أن يكون قد تولد (ربما من مجال ضئيل للغاية كان بمثابة البذرة لدخل النجم ذاته في خلال مرحلته التطورية الحالية).. ويطلق على المجموعة الأولى من هذه النظريات (نظريات الأحافير)، أما المجموعة الثانية فتشمل نظريات المفعل (dynamo) / والحاشدة (battery) ونظرية عدم الاستقرار الترمو مغناطيسي (ولا تبدو أى من هذه النظريات بمفردها كافية لتفسير ظاهرة المغناطيسية في النجوم ذات مراحل التطور المختلفة. وتتص نظرية المفعل على أن مجالا أصليا صغيرا إذا غمس في مائع موصل فإنه يتضخم نتيجة حركة المائع ويزيد كثيرا عن (البذرة) الأصلية، ويعتبر الكثيرون أن نظرية (المفعل) هي المسؤولة عن مجال شمسنا المغناطيسي وكذلك غيرها من نجوم التابع للرئيسي (وهي مالا يمكن تطبيق نظرية الأحافير عليها). وتتص نظرية الحاشدة على أن الذرات تتأين- تحت الظروف النجمية- فتتواجد إلكترونات طليقة، ونظرا للفرق في قوى التجاذب بالنسبة للإلكترونات والأيونات الموجبة، يتولد مجال كهربى ذو تموج صفر (zero curl)، ولا يوجد بالتالى مجال مغناطيسى، وهى حالة النجم المنتظم المتجانس كيميائيا. أما فى حالة النجم غير المتجانس كيميائيا، فلا يكون المجال الكهربى صفري التموج، وإنما يتولد مجال مغناطيسى. ويصعب أن يعزى إلى آلية الحاشدة وحدها السبب فى للمجال المغناطيسى فى النجوم غير المتجانسة كيميائيا، على أن هذه الآلية تولد مجالا بنوريا (أى بذرة مجال) تؤدي إلى نشوء آلية المفعل السابق ذكرها. (المترجم)

(**) يقصد بالدوامية vorticity ميل المائع للحركة الدورانية فى شكل دوامة. (المترجم)

عزوما مدية على بعضها بعض. وسحب كومبتون^(*) Compton drag والذي يتوقف على كثافة طاقة الإشعاع الخلفى (ومن ثم يكون أكثر فعالية لدى قيم (ز) العالية، يمكنه أن ينمى بالتدرج تيارا فى المجرة الأولية الدوارة، فإذا تحركت البلازما بسرعة ع بالنسبة للإطار الذى تتجانس فيه خلفية الموجات الميكرونية فى كل الاتجاهات، فمن شأن حركتها أن تضعف وتهمد على مقياس زمنى يساوى $k \propto \frac{1}{N}$ ، حيث $N = k \cdot s \propto d^2$ ، وهو المقياس الزمنى لتبريد كومبتون المعتاد للإلكترونات. ولمزاوجة الإلكترونات بالأيونات، يلزم مجال كهربى بقوة $k \propto \frac{1}{E}$ ، كى يحافظ على نفسه فى البلازما. ومن شأن مجرة أولية ذات نصف قطر نق، تدور بسرعة ع أن تتكبح باطراد بتأثير سحب كومبتون، وسينمى مجال كهربى داخلها (بالتواء curl لاصفرى بطبيعة الحال) مجالا مغناطيسيا بمعدل $(k \propto s^2 \propto N - N) = E \propto \text{نق}$. ولدى حيود أقل شطر الأحمر، حيث لا تبترد الإلكترونات المصدومة، تكون عملية (الحاشدة) الحرارية أكثر فاعلية نوعا ما. ولكن لا يمكن لأى من هذه العمليات أن تغل أكثر من حوالى 10^{-10} جاوس على مقياس مجرة أولية، وهو ما يؤذن بضعفها.

٥-٢-٣ المجال المغناطيسى من النجوم الأولى:

تبدأ النجوم الأولية، المتكاثفة من الوسط ما بين النجوم فى يومنا هذا، تبدأ بمجال مغناطيسى قوى للغاية، أكثر من كونه قليلا جدا. وينبغى أن ينتشر المجال للخارج، ربما عن طريق العملية المعروفة بالانتشار فى اتجاهين فى ذات الوقت ambipolar diffusion^(١١١). على أن المجال فى المرحلة الأخيرة من عمر النجم قد لا يكون شديد التأثير بذات الظروف التى ولد فيها. وحتى لو كان المجال فى البداية - منعما، فإن آليات (الحاشدة) التى ناقشناها بيرمان^{١١٢} (والتي هى أكثر فاعلية وسرعة من آليات

(*) تأثير كومبتون هو للتغير فى شدة الأشعة الكونية نتيجة دوران المجرة.

(الحاشدة) عن طريق تأثير (سحب) كومبتون على المقياس المجري لصغر المقاييس في حالة النجوم المفردة) يمكنها أن تولد مجالا بنوريا، يمكن أن تعمل من خلاله على تضخيم النشاط الفعال dynamo بعدة أضعاف من المعامل (*) هـ e إذا اقتضت الضرورة. وإذا انفجر مثل هذا النجم متحورا إلى مستعر أعظم، فإن رياحا دوامية من بقايا النابض قد تجتاح الفضاء وتتخلله لعدة بارسكات مكعبة بمجال من الرتبة 10^{-4} جاوس (تماما كما في سديم السرطان crab) ^{١١٣}. ومن ثم فإن بضعة من المستعرات العظمى الأولى والمتوقع أنها انفجرت عند قيمة ز أكبر من ٥ (انظر بند ٥ - ١) تكون قد ولدت مجالا واهنا في غاز المجرات الأولية، حتى لو لم تفعل ذلك سلفا آليات (الحاشدة) على المقياس الكبير.

٥-٣-٤ نوى المجرات النشطة والفصوص (النتوءات الراديوية):

للمجرة الراديوية 4C41.17 فصوص راديوية يصل حيزها إلى ٣٠ كيلوبارسك، ^(١١٤) تحتوى على مجالات منسقة من الرتبة 10^{-5} جاوس، وهو ما يقتضى فيضا من الرتبة 10^{-4} جاوس. سم^٢. ومعامل انزياحها صوب الأحمر يبلغ ٣,٨، وهو ما يناظر حقبة كونية عندما كان الكون (إذا ما وصفناه طبقا لنموذج آينشتاين - دي سيتر) في عُشر عمره الحالى.

وربما تكون المجرات الراديوية مثل المجرة 4C41.17 قد تكونت بصورة استثنائية في وقت مبكر، عندما كان تشكل المجرات النمطية (وعلى وجه خاص تلك ذات الأقراص منها) لم يقع بعد. وكان من شأن المجالات فى نتوءات المجرات الراديوية أن تتولد فى النوى النشطة للمجرات المناظرة وتتدفق عبر نفثات متوازية (تتشابه مع بديل مضخم من رياح النجوم النابضة، وفقا للنظرية النسبية التى تولد مجال سديم السرطان). وهكذا، يمكن لمجال مجرة راديوى، مثل ذلك الموجود

(*) العدد هـ أو e هو أساس اللوغاريتمات الطبيعى ويساوى بالضبط ٢,٧١٨٢٨. (المترجم)

بأنقاض مستعر أعظم، أن يعتبر هو المسئول، حتى لو كان للجرم المركزي المنشئ مجال صفري عندما تشكل. والنتوءات الراديوية بدورها يمكن أن تكون بمثابة البذور للأقراص المجرية، إذا كانت مادة النتوءات مختلطة بدورها في داخل حجم أكبر.

م ٥.٣ الأصل الأرجح لمجال (بنوري) كاف:

يجب هنا المجال البنوري لنشاط مجرى فعال^(١١٥) بسؤال أكثر تحدياً من بنور النشاطات الفعالة الكونية ذات المقياس الأصغر، نظراً للطول المفرط للمقياس الزمني للمجري، ومن ثم فإن معامل التضخيم يكون بالتبعية بطيئاً. (ولقد افترضت بطبيعة الحال أن آلية التفعيل المجرية من الكفاءة بمكان. فمن الواضح أن المسألة ستكون أسوأ بكثير لو لم يكن الأمر كذلك. وليس لدينا حتى الآن أسس راسخة لتوقع وجود مجالات ذات بال في الكون المبكر جداً. صحيح أن هناك مبرراً منطقياً لتوقع مكونات على مقياس كبير لمثل هذا المجال بحيث يكون صغيراً لا يلفت الانتباه. وآليات الحاشدة على المقياس المجري حيث ظاهرة "سحب كمبتون" أو الإلكترونات الحرارية الساخنة والتي تولد القوة الدافعة الكهربائية ستكون كافية فقط كي تنتج "بنورا" كافية. ومن وجهة نظري، فإن البديلين اللذين يصورهما الجدول رقم (٢)، واعدان بصورة أكبر، فكل منهما يمكن أن ينتج 10^{-9} جاوس (وهما ليسا -تبادلياً- بمنقطعي الصلة ببعضهما).

جدول (٢)

آلية حاشدة + آلية مفعل. حاشدة نجمية (حاشدة بيرمان).

في نوى المجرات النشطة الأولى (ز في النجوم الأولى حوالي ٥) ..



مجال "بذري" ذو شدة 10^{-9} جاوس أو تزيد

ويتوقف تنامي المجال المغناطيسي المجري على مدى قوة المجال (البذري) وتوقيت تولده. وبالنظر إلى أهميته في تشكل النجوم، فإن لدينا فرصة ضئيلة لتفهم حقيقة كيف يمكن أن تبدو مجرة ذات حيود كبير شطر الأحمر، حتى نولي هذه القضايا الاهتمام الكافي الجدير بها من قبل الخبراء في مجال المغناطيسية الكونية.

٥ - ٤ الأوتار الكونية:

ليس بمقدورنا أن نقرر ما إذا كانت المجالات المغناطيسية قد "بذرت" أو نثرت في الكون المبكر جدا. فلو أن الأمر كان كذلك، فإن وجودها قد أخبرنا بشيء عن الفيزيائيات الغريبة الجليبية لنا من الخارج. وما سيكون مثيرا بحق، بعض بقايا متخلفة كشفت بجلاء أمرا ما عن هذه الفيزيائيات. وقد تكون "الأوتار الكونية" مثالا تأمليا لذلك.

والأوتار الكونية عبارة عن تشوهات (طبوغرافية) ذات بعد واحد، ربما تكون قد تكونت في الكون المبكر باعتبارها بقايا تخلفت عن مرحلة التحولات الطورية في الفراغ^{١١٦}. وهي تظهر للوجود في الكثير من نظريات المعايرة gauge، وإن لم يكن فيها جميعاً، والتي ينهم فيها ذاتياً- نموذج التماثل الأصلي. وهي خطوط من الطاقة المحصورة ذات أبعاد مدهشة. فسمكها أقل من حجم الذرة بمقدار 10^{-20} ، في حين أن كتلتها تصل إلى 10^{12} طن لكل متر. وتوصف كتلتها بمعامل عديم البعد ج م، وهو دالة في عدد كتل بلانك (هـ س ج) $1/2$ طن لكل وحدة من طول بلانك (ج هـ س) $1/2$ وإذا كانت التشوهات التضاريسية الأخرى - مثل جدران المناطق^(*) domain walls والأقطاب الأحادية Monopoles، تمثل مأزقاً كونياً وإحراجاً لعلماء الكونيات، فإن العديد من هؤلاء العلماء يرحبون - على الجانب الآخر بفكرة الأوتار الكونية^(١١٧).

وفي خلال انتقال مرحلي مبكر، ربما تتكون شبكة من الأوتار، يمكن وضع نموذج لتطورها اللاحق. وحينما يتقاطع وتر طويل مع نفسه، فإن عروة مغلقة تتوقف فجأة. وفي الأوقات المتأخرة، فإننا نتوقع عدداً قليلاً من الأوتار "المفتوحة" التي تمتد مباشرة عبر الجزء المنظور من الكون، مع صف من العروات المغلقة التي تمتد حتى نطاق الأبعاد الصغيرة. وقد أشير إلى التأثيرات الجذبوية للأوتار باعتبارها "بنوراً" تتكون منها المجرات والعناقيد^{١١٧}. ويستوجب هذا قيمة للمعامل ج م تصل لبضعة أضعاف من 10^{-6} . وتشكل التكوينات التي تتسبب فيها الأوتار له ملمحان مميزان: فهو يحدث بسبب تذبذبات بعيدة كل البعد عن نوع "جاوس" كما أن هناك سيادة طبيعية للملامح الخطية ذات الأبعاد الكبيرة. ومن ناحية المبدأ يمكن استشعار الأوتار من خلال خرائط التأثير العدسي المتميزة التي يمكن أن تنتجها

(*) جدران المناطق domain walls: وهي تشوه في الزمكان على هيئة طبقة رقيقة تمثل في بعض النظريات الموحدة نطاقاً فاصلاً بين نطاقين مغناطيسيين يحدث خلاله انعكاس تدريجي في اتجاه المنتج الدال على المغناطيسية ويعتمد سمكها على تجانس خواص المادة في الاتجاهات المختلفة. (المترجم)

أو عن طريق الآثار ذات الحافة الحادة المتميزة التي قد تخلقها في خلفية الموجات الميكرونية^{١١٨}. إلا أن أكثر آثارها وضوحا وضخامة هو الموجات الجذبوية التي قد تولدها وعروات الأوتار الكونية التي تخفق وتضطرب في عنف، وبسرعة تداني سرعة الضوء، وتبعث بموجات جذبوية. ومحصلة الطاقة الضائعة تتسبب في انكماشها، وفي خاتمة المطاف، في اختفائها. ولا تكفي حساسية مستشعرات الموجات الجذبوية على سطح الأرض، ولا أجهزة قياس التداخل الفضائية التي تستطيع استشعار الثقوب السوداء المدمجة الكثيفة، كي تكشف عن هذه الموجات الجذبوية (انظر بند ٤ - ٤). على أية حال فإن الإشعاع المنبعث من عروات الأوتار المضمحلة لها نطاق من الفترات الزمنية يمكن أن يمتد لسنوات، وهذه الخلفية ذات التردد البالغ الانخفاض قد تفصح عن نفسها عن طريق أرصاد من النوع الذي قد يبدو - للوهلة الأولى - غير ذي علاقة البتة - وذلك بالتسجيل الدقيق الذي يجريه علماء الفلك الراديوي لفترات النوابض في مجرتنا نحن.

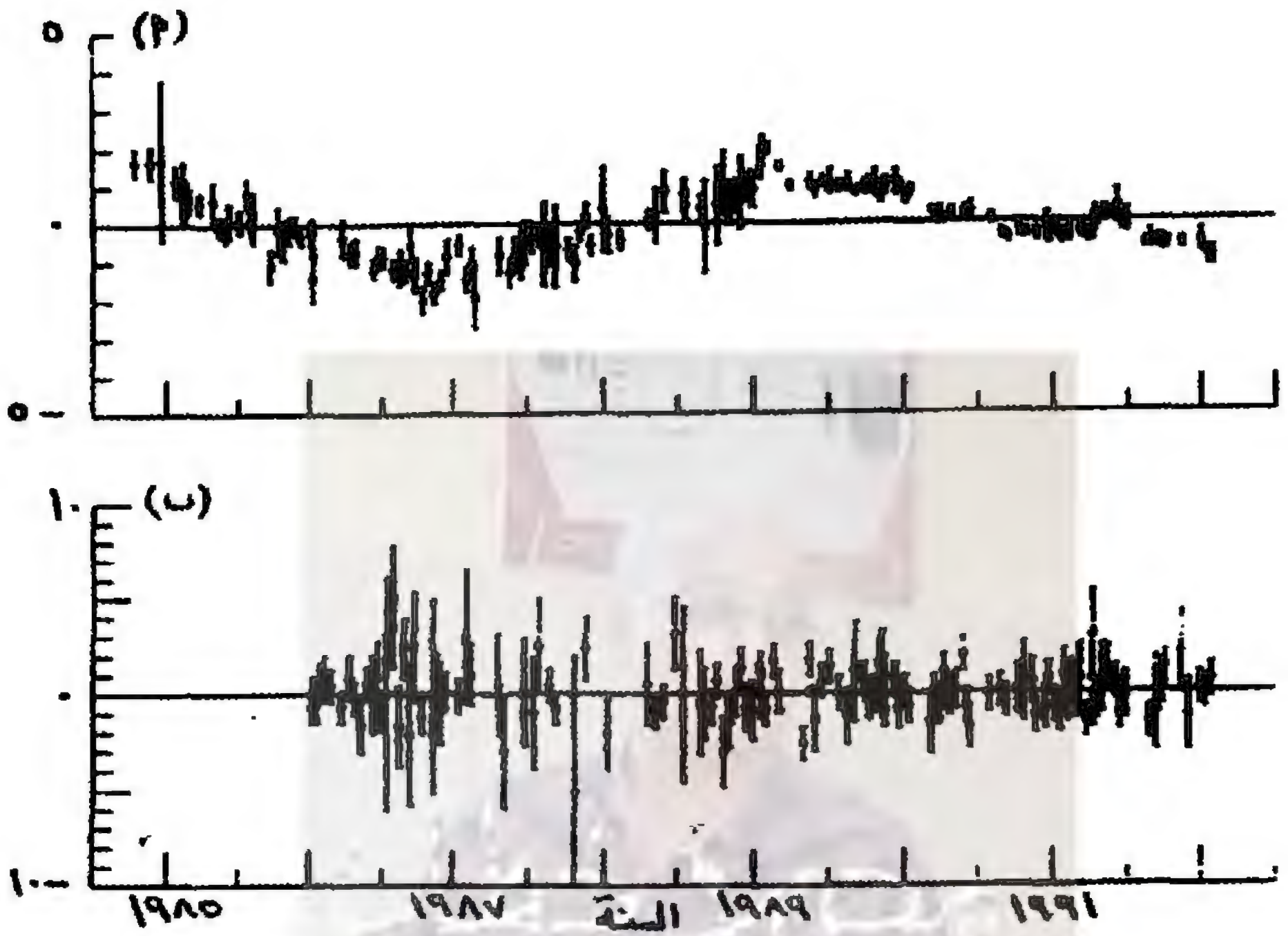
هناك نوعية مميزة من النوابض - والتي يطلق عليها النوابض من رتبة الملى ثانية، تدور حول نفسها بمعدل عدة مئات من المرات في الثانية، لها نبضات شديدة الانتظام والحدة بحيث إن بقيات التوقيئات^(*) تصل في صغرها إلى أجزاء من الميكروثانية^(١٢٠). وإذا كان الفضاء ما بيننا وبين النجم النابض مضطربا بموجات جذبوية فقد يجلب ذلك "ضوضاء توقيئية". ويمثل النابض أقصى حساسية باعتباره مستشعرا لهذه الموجات التي تقارن فترتها بطول الزمن الذي جرت خلاله الأرصاد، ويصل هذا الزمن إلى رتبة العشر سنوات. إن الساعة الميقاتية للنجم النابض حساسة حتى أجزاء من كل ١٠^{١٥}. والحد المستدل عليه لخلفية الموجة الجذبوية يعيق شبكة قوية ذات معامل ج م أكثر من بضع مرات من ١٠^{-٧}. وينبع مصدر عدم الدقة الرئيسي من عدم اليقين النظري حول كيفية تطور شبكة

(*) بقيات التوقيئات timing residuals : يقصد بها هنا عدم الانتظام المرصود في حركة النوابض الدورانية. (المترجم)

الأوتار^(١١٧)، ومن ثم عدم اليقين في كثافة الفضاء للعروات ذات الحيز الملائم، كي ينتج موجات جذبوية ذات فترة = ١٠ سنوات.

وبالنظر لفشل الفلكيين المستمر في تحديد ثابت هابل بدقة أفضل من ٢٠%، فإنه من المرضي أن ندون ظاهرة فلكية يمكن قياسها حتى ١٥ رقما. ومن المدهش حقيقة أن تحركات نجم نيوتروني ضئيل يبعد بالآلاف من السنوات الضوئية يمكن قياسها بدقة، بحيث يمكن تمييز التغيرات في السرعة القطرية- في خلال نطاق بضع سنين- التي تصل إلى بضعة ميكرونات في الثانية، وهي سرعة عقرب الساعات في ساعة المعصم).

وبطبيعة الحال يمكن أن تكون الأوتار موجودة حتى الآن، رغم حدود الموجة الجذبوية، لو كانت ج م أصغر. ومن شأنها آنذاك أن يقل الاهتمام بها من ناحية تكون المجرات، وإن بقيت أهميتها "بوصفها حفريات" من مرحلة انتقالية مبكرة. والدور المحوري لهذه الانتقالات المرحلية (انظر الباب السادس) هي كونها بمثابة المحرك للانتفاخ. إنها تذكرنا بأن الاضطرابات اللاحرارية الجاوسية ليست بمصدر البدء الوحيد الذي يمكن استيعابه بخصوص تشكل التكوينات الكونية.



شكل (٣٢)

بقيات التوقيت لنابضين نوى دورات من نوع (الملى ثانية): (أ) النابض 21+1937، (ب) النابض 1855+09 (مقتبسة من أبحاث تيلور ومعاونية).

لاحظ أن هذه الأجرام بمثابة (ساعات ميكاتية) ثابتة ومستقرة، تصل درجة دقتها إلى جزء من الميكروثانية عبر سنوات عديدة. وهذه النواض تعتبر أدوات استشعار حساسة للموجات الجذبوية ذات الدورة الزمنية التي تتراوح بين ١، ١٠ سنوات. وثبات زمان هذه الدورات - من هنا - يضع محددات على الأوتار الكونية (مقتبسة من أعمال تايلور ج. هـ - ١٩٩٢ - الجمعية الملكية (Phil. Trans. Roy. Soc. A341,117)).



الباب السادس

بعض المسائل الجوهرية

٦-١ الجاذبية:

لنا هنا كلمة عن الجاذبية، تلك التي تمسك المجرات معاً، وكذلك النجوم المفردة. إن ضعف الجاذبية - على المقياس الصغير فيزيائياً، نَعكسه حقيقة أن "الثابت الجذبوي للكيانات الدقيقة" (*) $h = \frac{c}{2\pi} \times 10^{-38} \text{ سم}^2 / \text{كجم} \cdot \text{ث}^2$ فقط. ولأن الثابت h على هذا النحو من الضالة فإن طاقة الربط الجذبوية لا تصبح ذات قيمة إلا عندما تتكدس أعداد هائلة من النوى معاً. فعندما تتكدس نوى عددها (ن) في نطاق نصف قطر متناسب مع $n^{1/3}$ (أي لدى كثافة ثابتة). تتناسب طاقة الربط الجذبوية لكل ذرة طردياً مع $n^{2/3}$. وتبدأ الجاذبية عند قيمة متواضعة لـ (ن) هي 10^{38} ، ثم تأخذ في التسارع عندما تبلغ ن قيمة $10^{38} \times \frac{2}{3} = 10^{57}$. ويصور شكل ٣٣ (والشرح المرافق له) ذلك، ويبين بوضوح أن هناك أسباباً فيزيائية أساسية لماذا يتعين على حشد من الباريونات عدده زهاء $h^{-2/3} = 10^{57}$ أن تسلك سلوك النجوم (كأنها بمثابة مفاعلات اندماجية محكومة بالجاذبية). وبأسلوب مشابه يظهر أن أطوال أعمار النجوم تتجاوز المقاييس الزمنية (على المستوى المايكرو فيزيائي) بمقدار h مرفوعة للأس ١.

ويمكن التعبير عن أطوال الأعمار بدلالة زمن سالتير (ن س) (انظر المعادلة (٣) والتي تتضمن صراحة أ ج. فمن الواجب أن يكون للكون من العمر ما يكفل

(*) في هذه المعادلة: ج هي ثابت الجاذبية العام $= 6.67 \times 10^{-8} \text{ سم}^3 / \text{كجم} \cdot \text{ث}^2$ ، ك ب هي كتلة البروتون $= 1.67 \times 10^{-27} \text{ كم}$ ، هـ هي دالة في ثابت بلانك $(h = \frac{h}{2\pi} = 6.626 \times 10^{-34} \text{ جول} \cdot \text{ثانية})$ ، س هي سرعة الضوء $= 299,000 \text{ كم/ث}.$

ظهورنا نحن على خشبة المسرح)، وبالمثل أن يكون كبيرا بما يكفي (إذا كان متجانسا). وهناك نتيجة أخرى تترتب على كبر 10^{10} وتتجلى في شكل (٣٣)، وهي أن مقاييس بلانك - حين تتداخل تأثيرات الجاذبية والكموم - تختلف عن المقاييس المعتادة التي تقابلنا في المختبر بل وحتى في عالم الفلك، بمقدار العشرة مرفوعة إلى أس كبير. فلو أن نموذج فريدمان الكوني يصلح استقراره إلى الوراثة ليصل إلى زمن بلانك (ج هـ نس $10^{10} = 10^{10}$ ثانية، لاحتوى أول جزء من الألف من الثانية على ٤٠ وحدة على مقياس الزمن اللوغاريتمي^(٥)).

وللكيانات الكبيرة كبرا كافيا بحيث تهيمن عليها قوى الجاذبية، خاصية مميزة، فهي عندما تفقد طاقة، ترتفع درجة حرارتها (فحرارتها النوعية بالسالب). فعلى سبيل المثال، لو لم يتم تعويض ما تفقده الشمس من طاقات إشعاع بالاندماج النووي، لتقلصت وانكمشت، لكنها ستتبقى ودرجة حرارتها مركزها أعلى من ذي قبل، فلكي تصل إلى الاتزان من جديد بعد تقلصها، حيث يمكن أن يوازن الضغط قوى التجانب التي زادت بهذا التقلص فلا بد وأن ترتفع درجة حرارة المركز. وتدفع الجاذبية بالأشياء بعيدا عن التجانس، بعيدا عن حالة اتزان حراري شامل. فبسبب الجاذبية لا بد وأن مناطق الكون المبكر ذات الكثافة الأعلى قليلا قد عانت من التباطؤ أكثر من غيرها، فتخلفت عن غيرها أكثر وأكثر حتى توقف تمددها تماما في النهاية. وقد نقل عدم الاستقرار الجنبوي هذا، اضطرابات أو تذبذبات

(٥) من الملاحظات التي تلقت نظر الفيزيائيين، تكرر ظهور العدد ١٠ مرفوعا للأس ٤٠ (١٠^{٤٠}) كثيرا في علم الطبيعة، فالنسبة بين الحجم المتناهي في الكبر إلى الحجم المتناهي في الصغر = ١٠^{٤٠}، والنسبة بين القوة الكهربائية بين البروتون والإلكترون إلى قوة الجاذبية بينهما = ١٠^{٤٠}، والجزء التريبيعي لعدد جميع ذرات الهيدروجين الموجودة داخل نطاق حد أولبرز = ١٠^{٤٠}، والنسبة بين كثافة المنطقة المركزية لمتفجر فوق العادي إلى متوسط كثافة مادة الكون = ١٠^{٤٠}، ويتساءل الفيزيائيون.. هل كل ذلك محض صدف! وقد كان إيدنجتون هو أول من قام بالمحاولة الوحيدة لاكتشاف ماهية هذه العلاقة الغريبة، وإن كان العلماء يشكون كثيرا فيما إذا كانت مدركاتنا الراهنة كافية لمعالجة هذه المسألة معالجة مثمرة. (المترجم نقلا عن كتاب مشارف علم الفلك لفريد هويل).

بعلاقة أسية بسيطة (أ ج مرفوعة لأس بسيط. وكتلة بلانك، التي يناظرها نصف قطر كومبتون وشفارتزفيلد متساويان، تساوى أ ج $^{-1/2}$. ك ب. ونصف القطر المناظر هو طول بلانك = (ج هـ ÷ س 2) $^{1/2}$. ولأن هذه الأبعاد تقع بعيدا عن نطاق الأبعاد المعملية أو الفيزيائية الفلكية المناظرة، فإن التقدم العلمى لا يعيقه - فى المقام الأول - جهلنا بالجانبية الكمومية. فكتلة مقدارها ك ب. أ ج $^{-1}$ تناظر تقيا أسود ذا نصف قطر يساوى حيز البروتون. ولمثل هذا الثقب درجة حرارة هوكنج بود \equiv ك ب س 2 وتشتع خلال وقت من رتبة أ ج $^{-3/2}$. ن. (أى زمن عمر النجم ن.). والكتل النجمية ~ أ ج $^{-3/2}$. ك ب. ومقياس بلانك للكتل (رتبة الكتل) أ $^{-2}$. ك ب لها أهميتها باعتبارها الكتلة فى نطاق حيز هابل فى نموذج كون فريدمان المسطح الذى عمره يساوى تقريبا ن.*

(يمكن أن تتضمن الكتل المجرية فى مثل هذا الرسم، ولكننا وكما ناقشنا فى الفصلين الثانى والثالث لا نلم - بصورة قاطعة - بفيزيائياتها). يؤكد هذا الشكل أنه فقط بسبب كبر المقدار أ ج $^{-1}$ يفصل ما بين مقاييس الفيزياء الميكرونية والفيزياء الفلكية المقدار ١٠ مرفوعا إلى أس كبير.

٦-٢ الكون متناهى التبكير:

إن تقدمنا فى استيعاب كيفية نشوء المجرات والتجمعات يجلب إلى دائرة اهتمامنا أسئلة جديدة: لماذا نشأ الكون على "هذا النحو الذى نرصده من مزيج من الجسيمات والإشعاع؟ لماذا كان له هذا البناء الهندسى المتميز: هذا التجانس الشامل الذى يجعل علم الكونيات بهذه الطواعية، مقرونا بهذه الاضطرابات والتذبذبات الهينة ذات السعات التى تصل إلى أمتار، والتى بدونها يصبح كوننا غير ذى ملامح؟ تكمن الإجابة على كل هذه الأسئلة فى مراحل الكون المبكرة جدا.

لقد أكدت في الباب الأول على وجود أسس وطيدة لاستقرائنا لأحداث الثانية الأولى، عندما كانت درجة الحرارة 10^{10} ميغا إلكترون-فولت. في ذلك الوقت، حين بدأت النيوترونات والبروتونات في تخليق العناصر الخفيفة، كانت قيم الكثافات والطاقات متواضعة وكانت الفيزيائيات على المستوى متناهي الصغر (الميكرو فيزيائيات) قياسية، لكن في الأزمنة الأكثر تبكيرا لا بد وأن الظروف كانت أكثر تطرفا، ولا بد وأن الكون تجاوز الكثافة النووية في أول جزء من ألف جزء من الثانية. وعند الزمن 10^{-12} ثانية، كان لكل جسيم من الطاقات ما يتجاوز التترا إلكترون فولت، وهو ما يتجاوز نطاقات المسارعات في دنيانا الأرضية.

وتأخذنا أربع وعشرون وحدة أخرى على مقياس الزمن اللوغاريتمي إلى الوراء، إلى الملايسات حين كانت درجة الحرارة 10^{10} جيجا إلكترون فولت (تمشيا مع النظريات الموحدة)، وتأخذنا ثمانية عقود إضافية لحقبة الجاذبية الكمومية "quantum gravity" عندما كان نصف قطر هابل مساويا لطول بلانك (ج هـ ÷ س 10^{-33} أي 10^{-33} سنتيمترا. لاحظ أن زمن بلانك أقل من عمر الكون عند ب. د = ك بروتون. س 10^{-24} جيجا إلكترون فولت بمعامل كبير، لأنه أساسا مساو للقيمة أ ج 10^{-1} التي سبقت الإشارة إليها.

إن أحد الشروط الابتدائية لتكون الكيانات(*) هو نسبة الباريونات إلى الفوتونات (ت)، وهو رقم ضئيل يبلغ نحو 10^{-9} . وعندما تزيد القيمة (ب. د) عن (ك بروتون - س 10^{-2}) فلا بد أن اختلال التوازن بين البروتونات ومضادات البروتونات (أو الكواركات والكواركات المضادة) لا كان صغيرا، يساوي تقريبا (ت). وباتجاه الكون نحو البرودة لا بد وأن هذه الثنائيات بادت وتحولت إلى إشعاع، مخلقة - فقط - كسرا ضئيلا من الجسيمات المفردة لا تزيد قيمته عن (ت). ما هو تفسير هذه الأهمية المصيرية لقيمة (ت)؟ لو انخفضت هذه القيمة إلى الصفر لأضحى الكون - في بحر عشرة بلايين من السنين - مجرد إشعاع محض. وضالة هذا

(*) كلمة الكيانات هنا تعنى عموما الأجرام من مجرات وعناقيد وعناقيد عليا. (المترجم)

المعامل، مقارنة بالواحد الصحيح قادت معظم النظريات إلى تأويله على أنه (انحياز) للباريونات في هذا الكون متناهي التفكير في نشأته المبكرة الأولى، وضالة معامل عدم التماثل ($n_B - n_{\bar{B}} = n_B + n_{\bar{B}}$) = (نا) ترتبط - لدى كثير من النظريات بصغر درجة انتهاك نسبة الشحنة إلى تماثل الخواص charge/parity في التأثير المتبادل الضعيف، ولن أعود إلى الخوض في هذه الأفكار بعد الآن اللهم فيما عدا ذكرى لنقطتين:

أ- في الزمن المبكر الأول كان عدم التماثل يحدد حينما كانت الكتلة داخل نطاق حيز هابل Hubble volume ذلك الذي يطلق عليه مقياس الأفق horizon scale، صغيرة. ورغم أن القيمة (نا) قد تبدى اختلافات بعدية على مقياس متناهي الصغر (مصحوبة - على سبيل المثال - بعيوب في التضاريس^(*)) فينبغي أن تكون منتظمة على جميع المقاييس التي تعيننا في مجال الفيزياء الفلكية. إن تكون المجرات مما يطلق عليه تذبذبات الباريونات ذات الانحناء الابتدائي المتجانس في قيمة (ت) (والتي من شأنها أن تتجمد قيمتها عند سعة ذبذبة ثابتة حتى إعادة الاندماج) قد نوقشت^(١٢٠)، لكن ما من نموذج راسخ الأركان - فيزيائيا - يبرر تولد تذبذبات ذات انحناء ثابت على مقياس كبير بدرجة كافية. وفي هذا أساس منطقي لتحفيز فكرة أن التكوينات تعزى إلى اضطرابات في الانحناء لا تؤثر في نسبة الفوتونات إلى الباريونات.

ب- قد يكون هناك (انحياز) مماثل للمادة على حساب المادة المضادة بالنسبة للمادة القائمة غير الباريونية في هيئة ويمبات، والعدد الذي يبقى قد لا يحدده بالتالي الكسر (أو الجزء) الذي يفلت من عملية التقاى annihilation، لكن تحدده بعض الآليات التي تشبه تلك المسؤولة عن فائض الباريونات في الكون.

(*) كلمة تضاريس هنا تعنى عدم الانتظام في الخواص عبر امتداد الطول. (المترجم)

والنسب - على غرار (ت) - هي أعداد كونية شاملة، بمعنى أنها قد تتخذ نفس القيمة في كامل النطاق الممكن رصده من الكون. ويحددها - بصفة جوهرية - ناتج العمليات الفيزيائية الموضعية التي لم تقيم كمياً بعد (الاصطدامات، والتفاني وما إلى ذلك) والتي تقع حينما تكون المادة الكونية الابتدائية آخذة في التمدد والابتعاد في نطاق حرج من درجات الحرارة. وهذا -على نحو ما- يستدعي سؤالاً أكثر في أساسيته: لماذا كان للكون نفس وتيرة التمدد في كل مكان منه؟

٦-٣ مشكلتا الاستواء والأفق:

من الأمور الغامضة لماذا لا يزال الكون -بعد مضي عشرة بلايين عام- في حالة تمدد، مع قيمة للمعامل (ي) لا تختلف كثيراً عن الوحدة. إننا لا نعرف التنبؤ على المدى البعيد، والسيناريوهات المتناقضة عن تمدد أبدي في مقابل عودة الكون إلى تقلص يؤول إلى انسحاق أعظم تبدو شديدة التباين، لكن لو أن التمدد قد انطلق في زمن مبكر، فسيبدو مثيراً للدهشة أن الكون لا هو الذي انهار منذ زمن بعيد ولا هو الذي تمدد بسرعة بحيث أعاق طاقة حركته التأثير الناجم عن الجاذبية بآلاف المرات. ويلوح أن الظروف تحتاج إلى ضبط أدق يوصلنا لما نحن فيه الآن^(١٢١). ويطلق على هذه القضية "مشكلة الاستواء"^(*) "flatness problem".

ومشكلة الأفق^(**) horizon problem المرتبطة بها أكثر إثارة للحيرة. لماذا ينبغي أن يكون للكون هذه الديناميكيات البسيطة، بحيث يمكننا توصيفه

(*) تعني ببساطة السر في التوازن الدقيق في كوننا بين التمدد الدائم، والتقلص الذي يفضي إلى انسحاق أعظم crunch، وسلوكه لحالة بينهما تقارب حالة الاستواء. (المترجم)

(**) تعني ببساطة أن ما نرصده في الكون الشاسع من تجانس يتتافى مع ما كان ينبغي أن يكون لمناطق الكون المختلفة، التي يفترض أن ليس بينها من ترابط سببي حيث إن سرعة انتقال الخواص (من طاقة ودرجات حرارة وغيرها) وكذلك المعلومات لا يمكن أن تنتقل بأسرع من الضوء وهناك مجرات بينها مسافات تزيد عن عمر الكون فهي غير منظورة بالنسبة لبعضها فكيف تجانست خواصها! (المترجم)

بمعامل وحيد م (ن)؟ إن درجات الحرية degrees of freedom يبدو عددها مفتوحا ومرسلا، في كون كان على درجة عالية من عدم التجانس وانتظام الخواص. فلماذا يا ترى تزامنت الأحداث التي ألمت بكل الأجزاء بحيث بدأ التمدد بنفس الكيفية، منصاعة لنفس القواعد الديناميكية؟ يبدو أن كل أجزاء الكون التي بوسعنا رصدها قد تجانست بذاتها بكيفية ما. على أن الرابطة السببية^(*) في النماذج النظرية القياسية كانت في الماضي أكثر سوءًا. وفي الأزمنة الباكورة يتناسب المعامل م مع r حيث $r = \frac{1}{2}$ إذا أمكن إهمال الضغط مقارنة بالمقدار θ بس^٢، $r = \frac{1}{2}$ في المراحل المبكرة حين يهيمن الإشعاع. وحينما كان الكون منضغطا (مدمجا) بمعامل ما (ص) (أى عندما كان المعامل م أقل بمقدار ص مرة عن المعامل م الآن) كان المقياس الزمني للتمدد أقل مما هو الآن بمعامل ص^{١/٢}. وتظهر مشكلة الأفق لأن $r > 1$. وفي زمن مبكر، لدى قيم أصغر للمعامل (م) كانت كل الأشياء أدنى إلى بعضها. وربما يعتقد المرء أن من شأن ذلك أن يحسن من العلاقة السببية (مثلا من خلال السماح بتبادل أسهل للإشارات الضوئية، وموجات التضغط وما إلى ذلك). إلا أن العلاقة السببية كانت في الواقع أكثر سوءًا، لأن الوقت المتاح كان أقصر بمعامل أكبر.

ويمكن تصوير (مشكلة الأفق) بمثال بسيط. هب مجرة تبعد عنا ١٠ سنة ضوئية. فما دام كان عمر الكون بين ١، ٢ × ١٠ سنة فإن هناك مجالا من الوقت ليتم تبادل عشرة إلى عشرين إشارة. وفي حقبة عودة الاندماج، عندما كان المعامل م واحدا على الألف من قيمته الآن، لا بد وأن المجرة كانت على بعد مليون سنة ضوئية - أى أقرب ألف مرة - ولكن بما أن م تتناسب مع r^2 بصورة تقريبية خلال الفترة المناظرة لذلك، فإن الكون كان يتمدد عندئذ بمقياس زمني أسرع ليس فقط بمعدل ١٠^٢ مرة ولكن بمعدل ١٠^{٤.٥} مرة. ومن ثم فمن شأن الوقت المتاح حينئذ ألا يكفي لتبادل ولو حتى إشارة واحدة مع مجرة أخرى.

(*) الرابطة السببية causal contact: يقال إن بين كيانين اتصالا سببيا إذا أثر في كليهما حدث ما بطريقة سببية. مثال: كتلتان متجاذبتان. (المترجم)

إن مجرتين تفصل بينهما 10^9 سنة ضوئية في الحقبة الراهنة إذا وقعنا على سطح التشنت الأخير^(*) عند قيمة $z = 1000$ سوف تفصلهما في السماء زاوية مقدارها $5\sqrt{5}$ درجة. لماذا إذن عندما نرصد خلفية الموجات متناهية الصغر القائمة من اتجاهين تفصل بينهما زوايا كبيرة، نرصد نفس درجة الحرارة تقريباً؟

٦-٤ النماذج وفقاً لنظرية الانتفاخ:

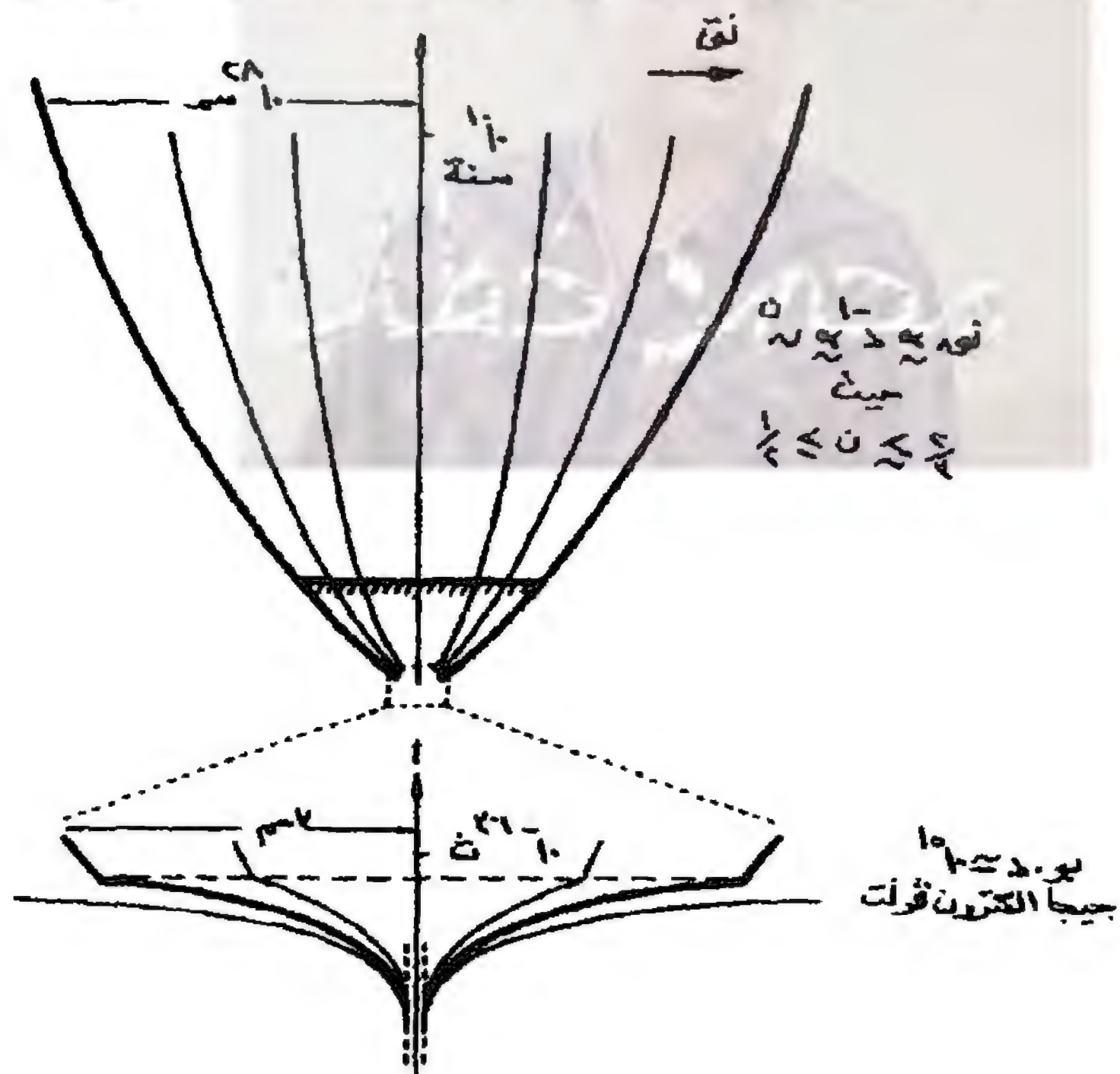
تظهر "مشكلة الأفق" عندما تبطل الجاذبية من التمدد الكوني، أى عندما يتناسب المعامل m مع الزمن مرفوعاً للأس r (حيث $r > 1$). والحل المقترح هو افتراض مرحلة تسارع فيها التمدد (بصورة أسية)، وسبقت مرحلة تتناسب m مع n . وفى كون ذى تمدد متسارع من شأن العلاقة السببية أن تكون أفضل فى الأزمنة الأكثر تبكيراً. ومن ثم فإن الأجزاء النائية، المنفصلة عن كوننا الحالى ربما تدبرت أمرها وتزامنت مبكراً خلال المرحلة الانتفاخية. إن تفاصيل الانتفاخ بطبيعة الحال تأملية، فهي شديدة التأثير بقوانين الفيزياء لدى الطاقات فائقة الارتفاع التى يكاد جهلنا بها أن يكون مطبقاً. على أن الفكرة العامة للانتفاخ ذات جاذبية طاغية^{١٢٢}، فهي تقترح حلولاً لمشكلتي الاستواء والأفق، وهى حقاً -على نحو ما- تطرح لماذا يتمدد الكون، وهو أمر يبدو - فى غير هذا التفسير - جزءاً من الشروط الابتدائية.

ووفقاً لنماذج الانتفاخ^(١٢٣-١٢٥) فلكوننا حجمه حالياً، وهو يتمدد على هذا النحو الذى يتمدد به لأنه كانت هناك حقبة تمدد بصورة أسية، ربما فى زمن سابق لحقبة بود $= 10^{-15}$ جيجا إلكترون فولت (عندما كان المعامل الزمنى للتمد 10^{-15} ث). إذا ما مددنا معادلات فريدمان إلى الوراء فى الزمن، فسنجد أن الكون الذى بمقدورنا رصده حالياً كان عندئذ ذا حيز لا يعدو بضعة سنتيمترات (انظر شكل ٣٤ وشرحه). ورغم أن هذا يبدو ضئيلاً فإنه بالغ الضخامة لدى مقارنته بمقياس الأفق

(*) سطح التشنت الأخير: هو سطح كروى تخيلى يحيط بالراصد نصف قطره يساوى المسافة التى قطعها الفوتون منذ آخر تشنت له لدى مرحلة إعادة الاندماج. (المترجم)

الذى يمكن حفظ العلاقة السببية فى مداه، والذى يبلغ 10×3^{-26} سنتيمتر. على أن الكون الممكن رصده - رغم ذلك - ربما تمكن من البروغ للوجود من نطاق ذى صلة سببية لا يتجاوز حيزه مقياس بلانك لو سبقته حقبة حافظ فيها التمدد على معدله الأسى بمقدار هـ^(*) مرفوعة للأس ٦٠.

إن التذبذبات التى تتكون بناءً عليها العناقيد والعناقيد الفوقية، وحتى ما هو أضخم منها مما ينتشر عبر السماوات والتى تم قياس تأثيرها على خلفية الموجات الميكرونية، هى - إن صحت هذه الأفكار - ظاهرة كمومية أصيلة من حقبة موعلة فى القدم عندما كان نصف قطر هابل أكبر من طول بلانك بمقدار العشرة مرفوعة إلى أس قليل.



شكل (٣٤)

(*) كما سبق القول العدد (هـ) هو أساس اللوغاريتمات الطبيعى وتساوى بالضبط ٢,٧١٨٢٨، ويلاحظ أن هـ = ٦٠ = ١٠^{٢٦} كما هو فى شرح شكل (٣٤). (يرمز لـ هـ فى الرياضيات بالرمز e). (المترجم)

تصوير تخطيطي (الزمن موقع على المحور الرأسي ونصف القطر على المحور الأفق) عن كيفية تباطؤ التمدد الكوني. كانت العلاقة السببية أكثر سوءا في الماضي من جراء هذا التباطؤ - فعلى سبيل المثال، في حقبة عودة الاندماج كانت الأشياء (الأجرام) منفصلة عن بعضها بمقدار ١ من الألف من الوقت الحالي، لكن مقياس التمدد الزمني (ومن ثم الوقت المتاح لتبادل الإشارات) كان وقتئذ أصغر، ليس فقط بمقدار ١ من الألف لكن بمقدار واحد من ثلاثين ألفاً^(*). وعندما كانت ب.و. د = ١٠^{١٥} جيجا إلكترون فولت، كان كل شيء داخل نطاق نصف قطر هابل الحالي، متقلصا (منضغطا) بحيث لا يتعدى بضعة سنتيمترات. على أية حال، فقد كان نصف القطر الفعال آنذاك يبلغ ١٠ - ٢٦ سنتيمتر فحسب. ولتبرير تجانس الكون الراهن نفترض نماذج نظرية الانتفاخ أنه كان هناك - في زمن أكثر تبكيرا من هذه الحقبة - فترة كان نصف القطر (نق) فيها يتمدد بمعدل أسي، بمعامل أكبر كثيرا من ١٠^{٢٦} (أي أكبر كثيرا من هـ مرفوعة للأس ٦٠) (**).

ويبرز طيف هاريسون - زيلدوفيتش للوجود بصورة طبيعية. وبدقة أكثر، يتوقع المرء طيفا مائلا ميلا خفيفا مع ارتفاع لو غارتي مي بطيء في سعة الذبذبة نحو المقاييس الأكبر. ويعود ذلك إلى أن النمو لم يتوقف تماما عندما يتزايد معيار القياس خارج نطاق أفق الحدث^(***)، وقد تمددت المقاييس الأكبر بمعدلات تساوي هـ مرفوعة إلى أسس أعلى من مقياس بلانك^(١٢٥، ١٢٦).

(*) لأن $10^{10} \times \sqrt{10} = 30000$ (المترجم)

(**) هـ = $60 = 2,71828$ (٢٦ ١٠) (المترجم)

(***) أفق الحدث event horizon: مصطلح يطلق على الفراغ المحدد لبداية الثقب الأسود، حيث إنه يحجب أية أحداث تدور بداخله، إذ إن الثقب الأسود يمنع الضوء من التسرب منه. (المترجم)

إن العدد السحري ض = 10^{-5} ، الذى يميز (خشونة) الكون^(*) ليس مفهوماً على نحو كامل، وهو يعتمد على فيزيائيات ما زالت ذات طبيعة محض تأملية. على أن النماذج المحددة لنظرية الانتفاخ تزودنا بتنبؤ كمى متميز لهذا الميل أو الانحراف فى الاهتزازات، وبالمثل لأشياء كالنسبة بين حالة المقادير غير الاتجاهية وحالة الممتد tensor. وتستشعر الأرصاد كليهما بدراسة عناقيد المجرات على المقياس الكبير، وبالتقلبات فى درجة حرارة خلفية الموجات الميكرونية على مختلف المقاييس الزاوية^(١٢٧). وبمقدورنا بناءً على ذلك أن نتطلع إلى استشعارات تجريبية مستقبلاً للحقبة الانتفاخية (كما يصورها نموذج الانتفاخ): فحتى إذا لم تكن على بيئة من الفيزيائيات الصحيحة، بوسعنا أن نحسب - كمياً - التداعيات المترتبة على نموذج نظرى بعينه، وأن نقارنها ببيانات الأرصاد، ومن ثم أن نحصر - على الأقل - نطاق الفيزيائيات الممكن بحثها.

وفى معظم بدائل نظرية الانتفاخ، من المحتمل أن يتجاوز التنامى الأسى - ما دام قد انطلق - الحدود، فيتمدد أى جزء صغير من سطح عشوائى مشوش غير منتظم فى الأصل بحيث يصبح من الكبر بحيث يمكن اعتباره - جوهرياً - فى حكم المستوى - بأى مقياس يمكن أن نرصده الآن. لذا فإنه تنبؤ عام وشامل أن $\gamma = 1$ (إلا إذا - وكما سنناقش فيما يلى - كان الثابت الكونى ليس بصفرى). ولكى يولد الانتفاخ قيمة للمعامل (ى) تساوى - مثلاً - ٠,٢، وجب أن يكون معامل الانتفاخ نحو 10^{-29} ، وهو ما يجعل مقياس انحناء روبرتسون - ووكر^(**) قابلاً بنصف قطر هابل الحالى.

(*) استعملت كلمة خشونة الكون هنا استعمالاً مجازياً تشير فيه إلى درجة عدم التجانس مثلاً يعبر عند درجة عدم استواء سطح ما بالخشونة. (المترجم)

(**) مقياس انحناء روبرتسون - ووكر Robertson- walker curvature scale: هو دالة رياضية توصف الشكل الهندسى للزمكان (الزمان - المكان) فى أربعة أبعاد: ثلاثة مكانية وواحد زمانى (هو الزمن الكونى cosmic time)، وهذه الأبعاد الرباعية تتوافق مع تجانس خواص الكون فى جميع الاتجاهات، والدالة توصف عموماً الفضاء المنحنى الذى لا يتمدد ولا ينكمش بمرور الزمن الكونى، وقد سميت باسم الرياضى والفلكى الأمريكى هوارد بيرس روبرتسون (١٩٠٣ - ١٩٦١) والرياضى الإنجليزى جيوفرى ووكر (١٩٠٩ -) (المترجم)

ويقتضى هذا وقوع بعض المصادفات، بل ستكون المتطلبات الإضافية التي يقتضيها ذلك حينئذ أكثر. لا بد وأن كوننا قد بزغ للوجود من جزء من السطح الفائق الأصلي initial hypersurface وله على ما يبدو، تلك الخاصية المتميزة للغاية من حيث انتظام انحنائه إلى حد بضعة أجزاء من العشرة آلاف. ولو لم يكن الأمر كذلك، لخلقت التقلبات في الانحناء، تلك المتبقية من مرحلة ما قبل الانتفاخ، تذبذبات مضاعفة أو ذات أربعة أمثال القيمة (وغير ذلك على المقياس الزاوي الكبير) في خلفية الموجات الميكرونية، أكثر مما يوجد في الواقع. ومن شأن كوننا أن يكون قد انتفش من جزء من السطح الفائق الأصلي الذي كان ذا خصوصية مثلما تبدو الكرة ذات خصوصية إذا كانت تجعدات سطحها لا تصل لأكثر من 10^{-5} من الانحناء المتوسط.

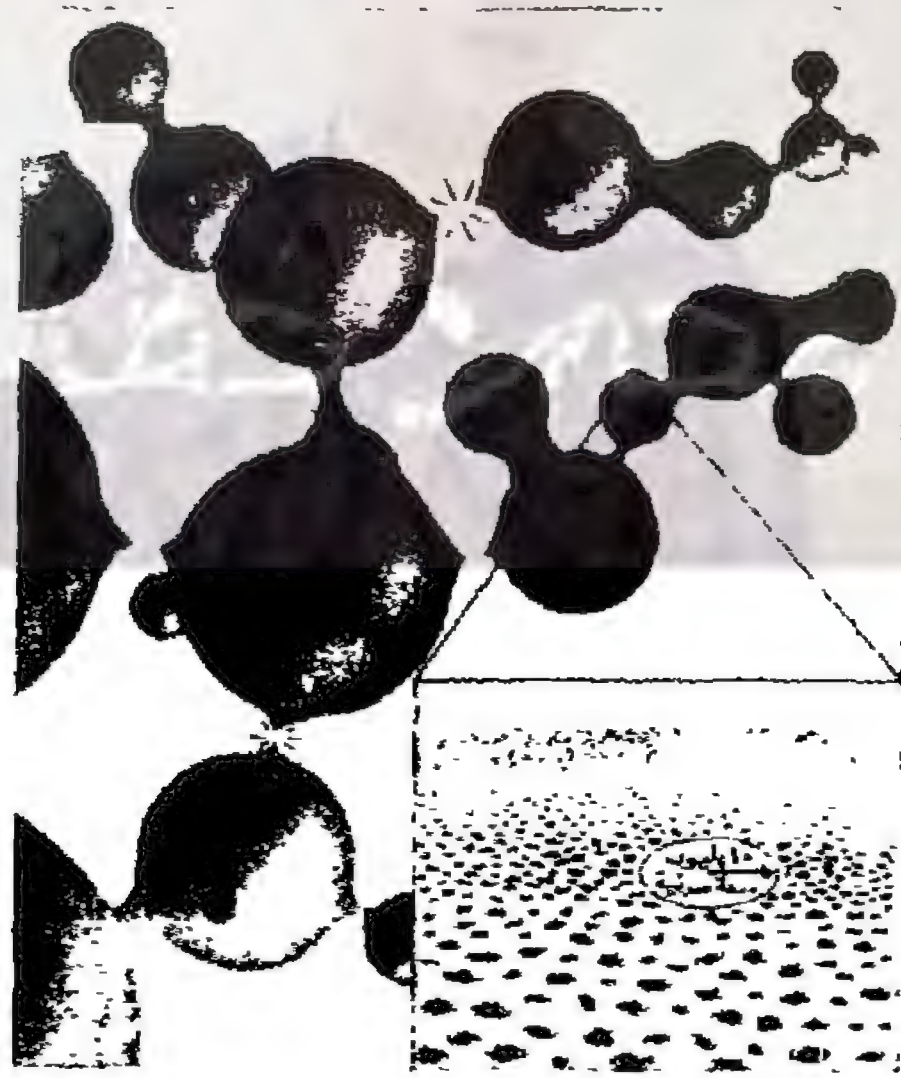
ويمثل ذلك الأساس لذلك (الانحياز) النظري القوي لتحديد قيمة الواحد الصحيح للمعامل (ي) (وبشكل أكثر دقة، حيث إن طيف هاريسون - زيلدوفيتش يجب أن يمتد إلى مقاييس (أحياز) تتخطى نصف قطر هابل الحالي، فلنا أن نتوقع قيمة عددية للمقدار [ي-1] في حدود 10^{-5}). وكما سلف وناقشنا في الباب الثالث، لا يزال البرهان على هذه القضية غير واضح: فهناك الكثير من المادة القائمة كي تسهم في $y=0.2$ والدليل الإيجابي الوحيد على قيمة أعلى من 0.2 جاءنا من بعض التحاليل لحركات انسيابية على مقياس الأحياز الكبيرة بالنسبة لتدفق هابل. ولكن قيمة هذا الدليل تحبذ قيمة تتراوح ما بين 0.2 ، 0.3 للمعامل ي، تسهم فيها الباريونات بقيمة $y \approx 0.04$ وتتوافق قيمة هذه الكثافة الباريونية مع الكميات المقيسة لوفرة الديتوريوم والهيليوم، فنسبة الباريونات في العناقيد عندئذ تساوي تقريبا $y:1$ ، والقيمة المرصودة ز من حيث العلاقة بالعناقيد المجرية تتماشى مع النمو الجذبوي للتكوينات. والسبيل الوحيد للتوفيق بين هذا وبين كون "مسطح" هو اللجوء إلى فكرة "طاقة الفراغ"، أي قيمة غير صفرية للثابت الكوني (أ).

ويبلغ عمر نموذج الانتفاخ النظرى الآن خمسة عشر عاما، وقد بقيت الفكرة العامة على قيد الحياة، بيد أن تنفيذها التفصيلى قد تشعب إلى طرز متعددة. وليس ثمة إجماع على الصلة ما بين أية نظرية موحدة بعينها، والمرحلة الانتفاخية الانتقالية (وقد تهاوت الأفكار الأكثر تبكيرا). على أية حال، فليس من قبيل المصادفة أن تبرز فكرة "الكون الانتفاخى" إلى الوجود فى الوقت الذى بدأت فيه المناقشات حول النظريات الموحدة الكبرى على نحو جاد. وعدم بقاء الباريونات أمر محورى فى أى نموذج انتفاخ نظرى. فليس مقبولا أن ينتفخ الكون إلى حيز هائل إذا كان غير قادر على الاكتظاظ - بعد ذلك - بالباريونات. ويستوجب هذا أن يسخن الطور الانتقالى - لدى نهاية الانتفاخ - الكون بما يكفى لضمان أن يصح استقرار معامل (أفضلية) الباريونات $(n_- - n_+)/(n_- + n_+) = \eta$ فى مجمل الحيز المنتفخ.

ويحبذ الكثير من العلماء النظريين فى الوقت الراهن فكرة "الانتفاخ المشوش أو الفوضوى chaotic inflation" ^{١٢٨} (*). وطبقا لنموذجه فليس من الضرورى (وكما يصور شكل ٣٥) أن تكون هناك "مفردة" بسيطة ابتدائية، ومرحلة انتفاخ انتقالية تكون بمثابة فاصل وسيط. ويجسد "ليندى" موقفا أكثر تعقدا، فيه تمدد سرمدى، حيث تنتفخ أجزاء مختلفة، مكونة أكوانا مستقلة، منفصلة - سببيا - عن بعضها بعضا. ولو أن كوننا فى حكم المسطح فإنه يمتد إلى تخوم شاسعة تتجاوز أفقنا الحالى البالغ ١٠ إلى ٢٠ بليون سنة ضوئية، والمقدر له أن يداوم على التمدد، مع بروز مجرات عديدة أخرى للوجود. ولعله أيضا سينهار ثانية فى خاتمة المطاف، لكن فقط بعد أن يتمدد علاوة على حجمه الحالى بمعامل يصل إلى ١٠^{١٠}! لكن، إن ما نطلق عليه (كوننا) قد يكون مجرد حيز أو نطاق واحد، أو طور واحد،

(*) نظرية الانتفاخ الفوضوى أو المشوش: هى أحد بدائل نظرية الانتفاخ - اقترحها أندريه ليندى العالم السوفيتى وتنتظر لكوننا باعتباره واحدا من أكوان عديدة تولدت نتيجة فراغ يصل إلى حالته الصفرية أو الأرضية. (المترجم)

من دورة توالد سرمدية من "الأكوان" المختلفة، ليس فيما بينها حاليا من رابطة سببية، وإن كان يمكن إرجاع آثارها إلى (أسلاف) مشتركين. وعلاوة على ذلك قلعل الانتقال من طور لآخر، والإدماج، إلخ.. قد جرى بصورة مختلفة في جميع (الأكوان)، انتهى في بعضها (ومن ضمنها كوننا) في صورة مواضع مواتية للتطور الفيزيائي الفلكي المركب. وربما يتوافق خط التفكير هذا مع تلك الإمكانية من أننا لا نحيا في "أبسط" صور الأكوان (وهي التي فيها المعامل $\gamma = 1$ والمعامل $\alpha = 0$)، لكن في عضو من مجموعة من الأكوان (التمطية)، فيما عدا أنها عرضة لمحدودية إمكانية تشكل المجرات والنجوم.



شكل (٣٥)

شكل تخطيطي تقريبي للغاية عن مفهوم التضخم الخارجي external inflation لـ (ليندي). فكوننا نحن الذي يمتد كثيرا خارج نطاق الأفق الحالي الذي يبلغ ١٠^{١٠} سنة ضوئية تقريبا هو مجرد جزئية من تجمع لا نهائي. (مأخوذ من مألوف إي. إف: السماء والمراقب - سبتمبر ١٩٨٨، صفحة ٢٥٦، حق النشر لسكاي بابليشنج كوربوريشن - أعيد إنتاجها بتصريح منها).

وهذا السيناريو، الذى يحل كل الجزء من كوننا مما بوسعنا رصده باعتباره عضوا من مجموعة هائلة غير محدودة، يقع بكل تأكيد على تخوم التأملات. وحقيقة، فإن أغلب النماذج النظرية المحددة عن الكون المبكر للغاية حاليا - ربما كان من الإنصاف أن نقول - تجنب إلى حين. ففيزيائيات أول 10^{-10} ثانية، وربما حتى أول ميكرو ثانية، غير مؤكدة فى يومنا هذا مثلما كانت الفيزيائيات عند الثانية الأولى، عندما استكشف جاموف^(*) وغيره من العلماء الرواد الأصل الكونى للعناصر. لقد استقرت أفكارهم على دعائم راسخة الأركان فى خلال عقد أو عقدين. ولعل بمقدورنا مشاركتهم بأمال مشابهة عن التعايش بين فيزيائيات الطاقة فائقة الارتفاع وبين علوم الكونيات فى العقد القادم^(**).

والتكون الابتدائى للنوى، الحادث عندما كان عمر الكون بين ١، ١٠٠ ثانية، حين كان المقدار بـ ٠.١ يتراوح بين ٠.١ إلى ١ ميجا إلكترون فولت، شمل عمليات فيزيائية (فيزيائيات الطاقة المنخفضة وما إلى ذلك) التى يمكن - تجريبيا - استكشافها. وعلى نقيض ذلك فإن قيم الطاقات والكثافات فى الحقب الباكورة جدا والمناظرة لتحديد الأرقام الكونية الأساسية مثل ت، ض قيم شديدة التطرف بحيث يصعب محاكاتها على سطح الأرض، حتى باستخدام المسارعات. ومن شأن هذا أن يجعل التحديات مما نواجهه مثبطة للهمم. على أن نفس هذه الملاحظات على الجانب الآخر تزودنا بحافز إضافي، فالكون المبكر قد يقدم الاختبارات الحقيقية الوحيدة للنظريات الموحدة الجديدة، كونه المكان الوحيد التى تتجسد فيه تداعياتها المتفردة. فى عقد الخمسينيات كان علم الكونيات خارجا عن الخط الأساسى لعلوم الفيزياء، ولم يكن أحد من العلماء يعيره الاهتمام اللهم إلا نفر قليل من

(*) جورج جاموف (١٩٠٤ - ١٩٦٨) عالم أمريكى (من أصل أوكرانى) فى مجال الفيزياء الذرية والفيزياء الفلكية والكونيات. طور مع معاونيه بديلا لنظرية الانفجار الأعظم فى أربعينيات القرن العشرين، وتتبا عندئذ بالإشعاع الخلفى الميكروويفى الذى تم التحقق من وجوده فيما بعد عام ١٩٦٤. (المترجم)

(**) يقصد به العقد الأول من القرن الحادى والعشرين، حيث إن الكتاب قد نشر عام ٢٠٠٠. (المترجم)

– "المتهوسين" على شاكلة "جاموف". وعلى النقيض من ذلك. تأسر قضايا علوم الكونيات حاليا شغف العديد من الفيزيائيين النظريين ممن يشكلون التيار الرئيسى للفيزيائيات. وكم يشكل هذا أرضية جيدة لنظرة مستقبلية متفائلة.

٦-٥ العبرة الختامية:

إن علم الكونيات هو موضوع يقف عند تخوم منتصف المسافة ما بين الفيزيائيات الأساسية وما يمكن أن نطلق عليه علم (الظروف والأوضاع المحيطة). وهو بالتبعية يجبهنا بأسلوبين متناقضين من المشاكل. ونشبه بعض النواحي فى علم الكونيات، الفيزياء الجزيئية، وهو موضوع يعتصم ممارسوه بالنظريات ذات العدد القليل من العوامل المتغيرة التى يمكن مقارنتها – بكل دقة – بالبيانات المتوفرة. وهناك – بالأساس – أربعة أرقام كونية أساسية فحسب:

أ- الثابت الجذبوى G والذى يقاس به ضعف قوة الجاذبية، مقارنة بالقوى الأخرى. وحقيقية فهذا المقدار يختلف اختلافا بينا عن الوحدة، بما يسمح بعدد هائل من التسلسلات فى تركيب كتل الجسيمات ترتيبا هرميا، ومن المقاييس المستعملة على المستوى الكونى.

ب- مجمل الانحناء (والمرتبط بقيم (ρ) (أو Ω أو M))، الثابت الكونى Λ الذى يصل – طبقا لنموذج نظرية الانتفاخ – إلى الصفر.

ج- الكثافة الباريونية والمعبر عنها بالمعامل b .

د- سعة ذبذبة الانحناء δ ، وهى – وفقا لنموذج نظرية الانتفاخ – رقم مفرد، وطبقا للأرصاد تم حصرها فى حدود قيمة قريبة من 10^{-5} .

ويحدونا كبير الأمل فى استخلاص هذه الأرقام الكونية الأربعة من خلال الفيزيائيات الأساسية. وعلاوة على ذلك، فحسبنا هذه الأرقام كى نحدد الملامح

الرئيسية لكوننا الحالي، والحقبة الزمنية التي تشكلت فيها المجرات، والتكوينات ذات الأبعاد الهائلة، والعناصر الخفيفة.. إلخ، هذا إذا ما رددتها معارفنا عن ماهية المادة القائمة التي قد نتعرف عليها عما قريب من خلال الفيزيائيات الأساسية.

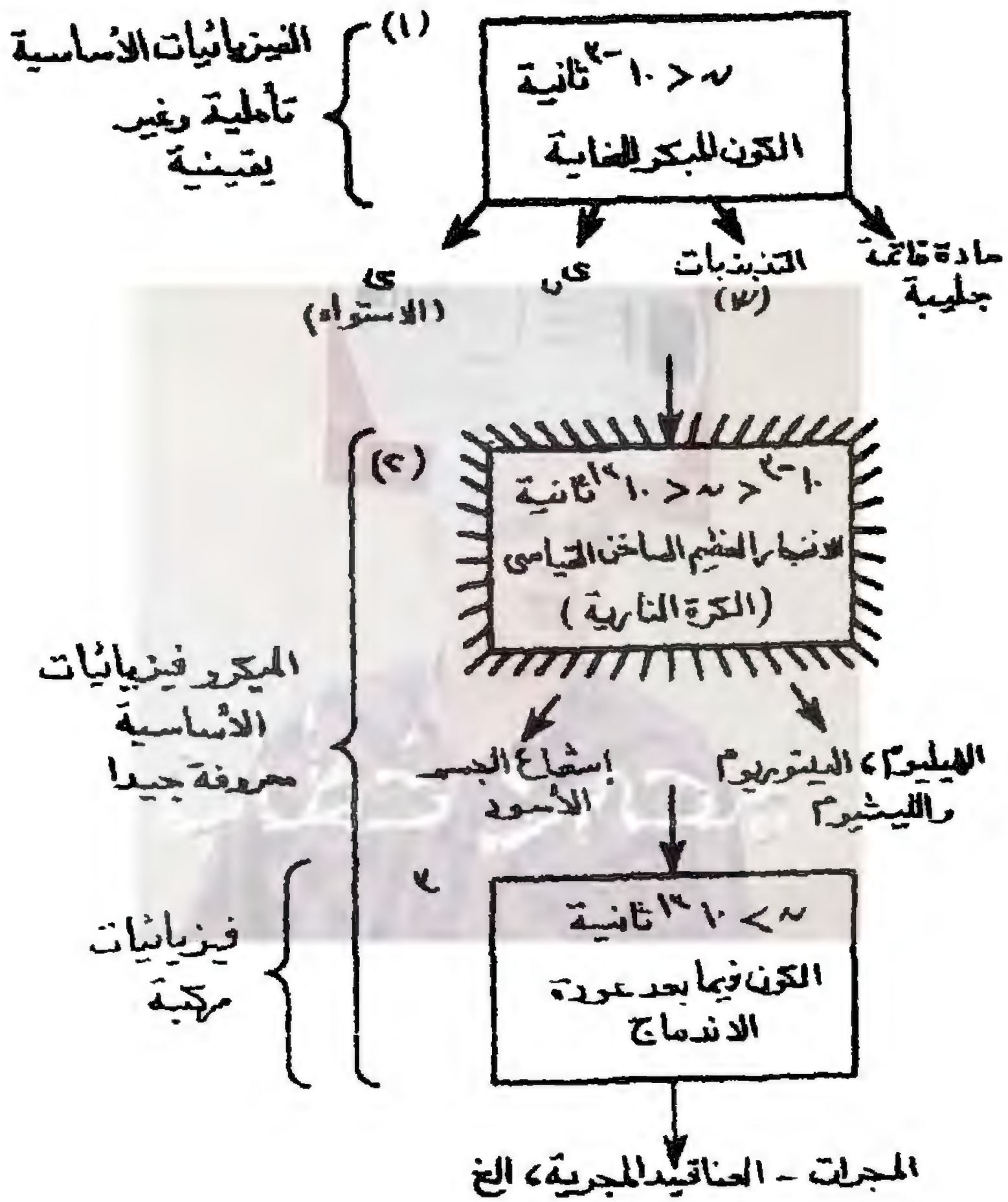
على أن مولد مجرة ما يقتضى معرفة الديناميكيات التي تسرب بها الغاز، وتكون النجوم والتأثير المتبادل بين النجوم والمستعرات العظمى، وجميعها عمليات معقدة ومليئة بالألغاز. ولن تكون النماذج النظرية عن شكل المجرات خالصة صرفة كالنظريات التي يتوق إليها فيزيائيو الجسيمات الأولية، بل دائما ما سيكون هناك عنصر ما من التوفيق بين العوامل المتغيرة، تحدوه الأرصاد. والمشاكل بينها من التشابك والتراكب بحيث ما من سبيل لحل مشكلة مفردة منها حلا واقعيا، إذا لم تكتمل الصورة برمتها وتتضح حدودها القاطعة. فعلى سبيل المثال ليس بوسعنا أن نضع نظريتنا المفترضة عن شكل المجرات وتطورها موضع الاختبار حتى نستوعب ديناميكا الغاز خلال تكون النجم والدور المحتمل للنوى النشطة، بالإضافة إلى الفيزيائيات غير المألوفة للتذبذبات الكونية الابتدائية.

وبتقدم الأرصاد، والنماذج النظرية الموضوعية جنبا إلى جنب، بمقدورنا أن نأمل حقيقة في رؤى جديدة مستحدثة تطامن من حيرتنا الراهنة، وتضييق من نطاقات افتراضاتنا فيما يختص بالمادة القائمة، وتشكل التكوينات الكونية وما شاكل ذلك. ولن تشبه هذه الرؤى المستحدثة نظرية جديدة في الفيزيائيات الأساسية، وإنما ستكون أشبه بنظرية جيدة في الفيزياء الجيولوجية (التكوينات الصفائحية على سبيل المثال). فهي فكرة لتوحيد المفاهيم تعطي رؤية تنفذ إلى حقائق لم يسبق ربطها بها، ولا يقلل من شأن علم التكوينات الصفائحية أنه لا يستطيع التكهن بشكل القارات.

ورغم الترحيب الذي يحظى به أى أمر يثير شغف جمهور العامة بالعلم، فأعترف بأننى لا أشعر بكبير ارتياح نحو الترويج (الشعبي نوعا ما) لعلم الكونيات. فبادئ ذى بدء إذا كنا كثيرا ما ندعى أننا بسبيلنا إلى نزع آخر قناع عن وجه الحقيقة أو إلى إنجاز اكتشافات من شأنها أن تزيح الأفكار القديمة عن

عرشها، فإننا بكل تأكيد سنتسبب في تآكل مصداقيتنا. وإنما تدعونا الفطنة إلى أن نكبح من جماح المغالاة قليلا. والأمر الثانى هو أن علينا ألا نخلط بين الأمور التى توطدت أركانها، وتلك التى لم تصل بعد إلى ذات الدرجة من اليقين. وهذا التمييز بين الأمرين يبينه شكل (٣٦)، الذى يقسم تاريخ الكون - وفقا لفرضية فريدمان عن "الانفجار الأعظم الساخن" إلى ثلاثة أجزاء. ويغضى الجزء الأول، أول ملئى ثانية (٠,٠٠١ من الثانية)، فالعديد من الملامح الجوهرية لكوننا الراهن، مثل هذا الخليط الأساسى من الجسيمات والطاقة، والاضطرابات التى نجم عنها التكوينات الكونية، هى من مواريث تلك المرحلة التى أرست أسس الظروف الأولية للمرحلة الثانية.





تاريخ الكون طبقا لنموذج الانفجار الأعظم القياسي، مقسما إلى 3 مراحل.

ويمتد الطور الثاني من 10^{-35} ثانية حتى حقبة إعادة الاندماج recombination عند زمن 10^{-13} (*) ثانية. إنها الحقبة التي يشعر فيها العلماء التجريبيون المتحفظون - شأني - بالارتياح. الذي يحس به المرء وهو في داره). فدرجة الحرارة السائدة أقل من 1000 ميجا إلكترون فولت، والكثافات حتى لو

(*) يكافئ هذا زمنا قدره نحو 300 ألف سنة من نشأة الكون. (المترجم)

اشتملت الإشعاع أقل بكثير من الكثافات النووية، ومن ثم لا تعود فيها فيزيائيات الجسيمات متناهية الصغر محل شك. ومن الممكن إجراء تنبؤات كمية معتمدة على أسس فيزيائية راسخة. وعلى سبيل المثال فإن نموذج الكرة النارية النظرى القياسى يعطى - مع اختيار قيمة ملائمة للكثافة الباريونية - توافقا لا بأس به مع ما هو مرصود من وفرة فى العناصر الخفيفة. وهذه العناصر، إلى جانب الإشعاع الخلفى ذاته. يقدم لنا أساسا تجريبيا لهذا الطور الثانى.

عند مرحلة ما بعد حقبة إعادة الاندماج، تكاثفت التكوينات الكونية من الكرة النارية الهلامية ذات الشكل غير المحدد. وتبقى فيزياء الكيانات الدقيقة مبادئ بعيدة عن مجال النقاش. إلا أن أخذ الأمور بهذه البساطة يتوقف بمجرد أن تظهر العلاقة غير الخطية وتنشأ المنظومات المقيدة، إذ تقترن قوى الجاذبية، وديناميكيات الغاز وكل المتغيرات الفيزيائية داخل كل حيز لاندau وليفتشيتس^(*) "Landau and Lifshitz" لتبدأ التراكيب المعقدة التى نشاهدها حولنا، بل والتى نحن جزء منها.

ويزودنا التجريب بدعم راسخ (وبارتباط وثيق بالفيزيائيات المعروفة لنا) عندما نتحدث عن الزمن بعد أول مللى ثانية وعند هبوط المقدار (بود) عن نحو ١٠٠ ميجا إلكترون فولت، أى عند التكون النووى الأولى^(**) وما يليه. غير أننا نصبح فوق أرضية أقل استقرارا عندما نغامر باستقراء ما حدث خلال المللى ثانية الأولى، وهو ما لا يجب أن نخفيه. وعندما نشوش المعارف الشائعة الحدود الفارقة ما بين الطورين الأول والثانى، فإننا نخاطر. فالقراء إما أن يقبلوا تخميناتنا فيما يخص المراحل المتناهية التبكير دون تمحيص، وإما أن يخفقوا - إذا كانوا أوفر

(*) ليف لاندau (١٩٠٨ - ١٩٦٨) عالم سوفيتى فى مجال الفيزياء النظرية له أبحاث فى الموائع والتوصيلية - حاصل على جائزة نوبل فى الفيزياء لعام ١٩٦٢، ويفجيني ميخايلوفيتش ليفشيتز (١٩١٥ - ١٩٨٥) عالم له بحوث فى النسبية العامة، وقد اشترك الاثنان فى تأليف سلسلة مهمة من كتب الفيزياء. (المترجم)

(**) التكون النووى nucleosynthesis: هو عملية خلق نوى ذرية جديدة من نيوكليونات (أى بروتونات أو نيوترونات) موجودة سلفا. (المترجم)

حظا من التشكك - فى تقدير أهمية أن بعض نواحي علم الكونيات تلك المتعلقة بالطورين الثانى والثالث لها أساس تجريبى كمى راسخ.

ولكن، على الرغم من هذا "التحذير الصحى"، فإنى متفائل إزاء ما خلصت إليه. فمن الأمور المشهودة أن المراقب بمقدورها أن تسمح الآن تسعين فى المائة من تاريخ الكون، وبمقدورها أن تبدأ فى وضع نماذج نظرية تفصيلية عن كيفية تطور التكوينات الكونية الحالية من بداياتها الهلامية، وبمقدور التقنيات الأخرى أن تسبر وتستقصى حقبا زمنية أكثر تبكيرا وتتحرى عن طبيعة المادة المعتمدة. وهذا التقدم يجلب إلى بؤرة الاهتمام مجموعة جديدة من المشاكل الأساسية عن المراحل المبكرة جدا للكون والتي يستوجب حلها فيزيائيات الجزيئات ذات الطاقة متناهية الارتفاع(*) (ultra- high- energy particle physics) والنظريات الموحدة. بوسعنا أن نتطلع إلى الأمام نحو تعايش بين هذه الموضوعات، يتسم بالتحدى والعقلانية. إن الجوانب التأملية والتخمينية فى علم الكونيات تتجه نحو الانضواء تحت إطار الفيزيائيات الجادة، وإنى لآمل أن تكون هذه المحاضرات قد أضفت - على الأقل - بعض النكهة المستحبة على هذا التقدم ووجهات النظر هذه.

(*) هى جسيمات ذات طاقة حركة غير معتادة تتخطى ١٠ ٢٠ إلكترون فولت، أى أنها تتجاوز نطاق الميكرو فيزياء إلى نطاق الماكرو فيزياء، وهى ظاهرة غير عادية رصدت أول مرة فى نيومكسيكو. ويرجح أن مصدر هذه الجسيمات النوى المجرية النشطة. (المترجم)

المراجع

1. Friedmann, A. 1922, *Z. Phys.* **10**, 377.
2. Hubble, E. 1929, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **15**, 168.
3. Bondi, H. & Gold, T. 1948, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **108**, 252. Hoyle, F. 1948, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **108**, 372.
4. Sandage, A. 1961, *Astrophys. J.* **133**, 355.
5. Ryle, M. 1958, *Proc. Roy. Soc. A* **248**, 289.
- 5a. Williams, R. E. et al. 1996, *Astron. J.* **112**, 1335.
- 5b. Steidel, C. C. et al. 1996, *Astron. J.* **112**, 352.
- 5c. Steidel, C. C. et al. 1996, *Astrophys. J.* **462**, 217. Lowenthal, J. et al. 1997, *Astrophys. J.* **481**, 673.
6. Schneider, D. P., Schmidt, M. & Gunn, J. E. 1991, *Astron. J.* **102**, 837.
- 6a. Weymann, R. et al. 1998, *Astrophys. J.* **505**, L95. Spinrad, H. et al. 1997, *Astrophys. J.* **484**, 587.
- 6b. Hu, E. et al. 1998, *Astrophys. J.* **502**, L89.
- 6c. Franx, M. et al. 1997, *Astrophys. J.* **486**, L715.
7. For a review see G. Maylan (ed.) 1995, *Quasar Absorption Lines* (Springer).
8. Penzias, A. & Wilson, R. W. 1965, *Astrophys. J.* **142**, 419.
9. Mather, J. C. et al. 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* **354**, L37. Mather, J. C. et al. 1994, *Astrophys. J.* **420**, 439.
10. Smoot, G. F. et al. 1992, *Astrophys. J. (Lett.)* **396**, L1.
11. Hancock, S. et al. 1994, *Nature* **367**, 333.
12. For a comprehensive review see White, M., Scott, D. & Silk, J. 1994, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **32**, 319.
13. Hoyle, F. & Tayler, R. J. 1964, *Nature* **203**, 1108. Peebles, P. J. E. 1966, *Astrophys. J.* **146**, 542. Wagoner, R. V., Fowler, W. A. & Hoyle, F. 1967, *Astrophys. J.* **148**, 3.

14. Yang, J. et al. 1984, *Astrophys. J.* **281**, 493. Walker, T. P. et al. 1991, *Astrophys. J.* **376**, 51
15. Burbidge, G. R., Burbidge, E. M., Fowler, W. A. & Hoyle, F. 1957, *Rev. Mod. Phys.* **29**, 547.
16. For a recent review, see Edmunds, M. G. & Terlevich, R. J. (eds.) 1992 *Elements and the Cosmos* (Cambridge University Press).
17. Reeves, H. 1994, *Rev. Mod. Phys.* **66**, 193.
- 17a. Burles, S. & Tytler, D. 1998, *Astrophys. J.* **499**, 699; **507**, 732.
18. Zel'dovich, Y. B. 1982, *Highlights of Astronomy* **6**, 29.
19. Binney, J. & Tremaine, S. 1987, *Galactic Dynamics* (Princeton University Press).
20. Rees, M. J. & Ostriker, J. P. 1977, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **179**, 541. Silk, J. I. 1977, *Astrophys. J.* **211**, 638.
21. Lake, G. & Feinwog, L. 1989, *Astron. J.* **98**, 166. Begemann, K. G. 1989, *Astron. Astrophys.* **223**, 47.
- 22 Ostriker, J. P., Peebles, P. J. E. & Yahil, A. 1974, *Astrophys. J. (Lett.)* **193**, L1. Einasto, J., Kaasik, A. & Saar, E. 1974, *Nature* **250**, 309.
23. For a review see Carr, B. J. 1998, *Physics Reports* **307**, 83 and references cited therein.
24. Kahn, F. D. & Woltjer, L. 1959, *Astrophys. J.* **130**, 705. Einasto, J. & Lynden-Bell, D. 1982, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **199**, 67.
25. The first claim for dark matter in clusters was Zwicky, F. 1933, *Helv. Phys. Acta* **6**, 110. For a recent review see *Observational Cosmology: the Development of Galaxy Systems . . .* Giurilin, G. et al. (eds.) ASP 1999.
26. Lynds, R. & Petrosian, V. 1986, *Bull. Amer. Astron. Soc.* **18**, 1014. Soucail, G. et al. 1987, *Astron. Astrophys.* **172**, L14.
27. Fort, B. & Mellier, Y. 1994, *Astron. Astrophys. Rev.* **5**, 239 (and references cited therein). Tyson, J. A., Valdes, F. & Werk, R. A. 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* **349**. Knäbel, J.-P. et al. 1996, *Astrophys. J.* **471**, 643.
28. For a comprehensive recent review of baryonic dark matter, see Carr, B. J. 1994, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **32**, 531.
- 29 Paczynski, B. 1986, *Astrophys. J.* **304**, 1.
30. Alcock, C. et al. 1993, *Nature* **365**, 621. Aubourg, E. et al. 1993, *Nature* **365**, 623.
- 30a. Alcock, C. et al. 1996, *Astrophys. J.* **461**, 84.
31. Carr, B. J., Bond, J. R. & Arnett, W. D. 1984, *Astrophys. J.* **277**, 445.
32. Refsdal, S. 1964, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **128**, 295. Refsdal, S. 1971, *Astrophys. J.* **159**, 357. Chang, K. & Refsdal, S. 1979, *Nature* **282**, 561.
- 32a. Dalcanton, J. J. et al. 1994, *Astrophys. J.* **424**, 550
33. Press, W. H. & Gunn, J. E. 1973, *Astrophys. J.* **185**, 397. Blandford, R. D. & Jaroszynski, M. 1981, *Astrophys. J.* **246**, 1. For a comprehensive recent review see Refsdal, S. & Surdej, J. 1994, *Rep. Prog. Phys.* **56**, 117

34. Applegate, J. & Hogan, C. J. 1985, *Phys. Rev. D* **31**, 3037.
35. Iso, K., Kodama, H. & Sato, K. 1986, *Phys. Lett.* **169B**, 337. Thomas, D. et al. 1994, *Astrophys. J.* **430**, 291 (and references cited therein).
36. Cowsik, R. & McLelland, J. 1973, *Astrophys. J.* **180**, 7.
37. Marx, G. & Szalay, A. 1972, *Proc. Neutrino 72* (Technoinform, Budapest), p. 191.
38. Lyubimov, V. A. et al. 1980, *Phys. Lett.* **394**, 266.
- 38a. For review of detection techniques, see Spooner, N. (ed.), 1997, *Identifying Dark Matter* (World Scientific).
39. For reviews of non-baryonic matter see Kolb, E. W. & Turner, M. S. 1990, *The Early Universe* (Addison Wesley); Ellis, J. R. 1990, in *Physics of the Early Universe*, ed. Peacock, J. A. et al. (Scottish Universities Summer School Publications); or Galcotti, P. & Schramm, D. N. (eds.) 1990, *Dark Matter in the Universe* (Kluwer).
40. For a comprehensive survey of 'correlation functions' see Peebles, P. J. E. 1980, *Large-Scale Structure of the Universe* (Princeton University Press).
41. Bond, J. R., Efstathiou, G. P. & Silk, J. I. 1980, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 1980.
42. Peebles, P. J. E. 1982, *Astrophys. J.* **258**, 415. Peebles, P. J. E. 1984, *Astrophys. J. (Lett.)* **189**, L51.
43. Harrison, E. R. 1970, *Phys. Rev. D* **1**, 2726. Zel'dovich, Y. B. 1972, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **160**, 1P.
44. Blumenthal, G., Faber, S. M., Primack, J. R. & Rees, M. J. 1984, *Nature*, **311**, 517.
45. Ostriker, J. P. 1993, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **31**, 689.
46. Jenkins, A. R. et al. 1998, *Astrophys. J.* **499**, 20.
47. Gott, J. R., Gunn, J. E., Schramm, D. N. & Tinsley, B. 1974, *Astrophys. J.* **194**, 543.
48. Shane, C. D. & Wirtanen, C. A. 1967, *Publ. Lick Obs.* **22**, pt. 1.
49. Maddox, S. J. et al. 1990, *Nature* **349**, 32.
50. Geller, M. J. & Huchra, J. P. 1989, *Science* **246**, 897, Shectman, S. A. et al. 1996, *Astrophys. J.* **470**, 172.
51. Silk, J. I. 1974, *Astrophys. J.* **193**, 525.
52. Lynden-Bell, D. et al. 1988, *Astrophys. J.* **326**, 19.
53. Rowan-Robinson, M. et al. 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **247**, 1.
54. For reviews see Bouchet, F. R. & Lachièze-Rey, M. (eds.) 1993, *Cosmic Velocity Fields* (Editions Frontières).
55. Bertschinger, E. & Dekel, A. 1989, *Astrophys. J. (Lett.)* **336**, L5. Dekel, A. et al. 1993, *Astrophys. J.* **412**, 1. For a recent review see Dekel, A. 1994, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **32**, 371.
- 55a. Davis, M., Nusser, A. & Willick, J. A. 1996, *Astrophys. J.* **473**, 22.
56. Dekel, A. & Rees, M. J. 1994, *Astrophys. J. (Lett.)* **422**, L1.
57. Kaiser, N. 1992, *Astrophys. J.* **388**, 272. Mould, J. et al. 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **271**, 31.

58. White, S. D.M. & Frenk, C. S. 1991, *Astrophys. J.* 379, 52. Lacey, C. & Cole, S. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 262, 627. Kauffmann, G., White, S. D. M. & Guiderdoni, B. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 264, 201. Kauffmann, G. & White, S. D.M. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 261, 921.
59. Perlmutter, S. et al. 1997 *Astrophys. J.* 483, 565; Reiss, A. G. et al. 1998 *Astron. J.* 116, 1009.
60. Kellerman, K. I. 1993, *Nature* 361, 134.
61. Turner, E. L. 1990, *Astrophys. J. (Lett.)* 365, L45. Fukugita, M. & Turner, E. L. 1991, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 253, 99.
62. Sandage, A. & Tammann, G. 1990, *Astrophys. J.* 365, 1. Jacoby, G. H. et al. 1992, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 104, 599. Van den Bergh, S. 1992, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 104, 861.
- 62a. See, for instance, the contributions by G. Tammann and W. Freedman in Turok, N. (ed.) 1997, *Dialogues in Cosmology* (World Scientific).
63. Efstathiou, G. 1990, in *Physics of the Early Universe*, ed. Peacock, J. A. et al. (Scottish Universities Summer School Publications).
- 63a. Bennett, C. L. et al. 1996, *Astrophys. J.* 464, L1.
64. Bardeen, J. et al. 1986, *Astrophys. J.* 304, 15.
65. Dekel, A. & Rees, M. J. 1987, *Nature*, 326, 455.
66. Blanchard, A., Buchert, T. & Klaffl, R. 1993, *Astron. Astrophys.* 267, 1.
67. Davis, M. et al. 1992, *Nature* 356, 489.
- 67a. Baugh, C. M., Cole, S., Frenk, C. S. & Lacey, C. G. 1998, *Astrophys. J.* 498, 504.
68. Efstathiou, G., Bond, J. R. & White, S. D. M. 1992, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 258, 1P.
69. Kofman, L., Gnedin, N. Y. & Bahcall, N. A. 1993, *Astrophys. J.* 413, 1.
70. Klypin, A., Holtzman, J., Primack, J. R. & Regos, E. 1993, *Astrophys. J.* 416, 1. Haehnelt, M. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 265, 727.
71. Bahcall, N. A. & Fan, X. 1998, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 95, 5956.
- 71a. Madau, P., Pozzetti, L. & Dickinson, M. 1998, *Astrophys. J.* 498, 106.
72. Hewitt, A. & Burbidge, G. R. 1993, *Astrophys. J. Supp.* 87, 451.
73. Boyle, B. J., Shanks, T., Fong, R. & Peterson, B. A. 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 243, 1.
74. Hewett, P. C. & Foltz, C. B. 1994, *Proc. Astron. Soc. Pacific* 108, 113.
- 74a. Shaver, P. 1995, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 759, 87.
75. Fall, S. M. & Efstathiou, G. 1980, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 193, 189. For a recent application of this model, see Mo, H. J., Mao, G. and White, S. D. M. 1998, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 295, 319.
76. Schmidt, M. 1989, *Highlights of Astronomy* 8, 31.
77. Soltan, A. 1982, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 200, 115. Phinney, E. S. 1983, Ph.D. Thesis, University of Cambridge.

78. Zel'dovich, Y. B. & Novikov, I. D. 1964, *Dokl. Acad. Nauk SSR* 158, 811.
79. Salpeter, E. E. 1964, *Astrophys. J. Letts.* 140, 796.
80. Sargent, W. L. W. et al. 1978, *Astrophys. J.* 221, 731. Young, P. et al. 1978, *Astrophys. J.* 221, 721.
- 80a. Merrett, D. & Oh, S. P. 1997, *Astron. J.* 113, 1279.
- 80b. Ford, H. C. et al 1994, *Astrophys. J.* 435, L27.
81. Light, E. S., Danielson, R. E. & Schwarzschild, M. 1974, *Astrophys. J.* 194, 257.
82. Kormendy, J. 1988, *Astrophys. J.* 335, 40. Dressler, A. & Richstone, D. O. 1988, *Astrophys. J.* 324, 701. Lauer, T. et al. 1998, *Astron. J.* 116, 2263.
83. Tonry, J. L. 1987, *Astrophys. J.* 322, 632. Van den Marel, R. et al. 1997, *Nature* 385, 610.
84. Jarvis, B. J. & Dubath, P. 1988, *Astron. Astrophys.* 201, L33.
85. Bender, R., Kormendy, J. & Dehnen, N. 1996, *Astrophys. J.* 464, L123.
86. Kormendy, J. & Richstone, D. D. 1995, *Ann. Rev. Astr. Astrophys.* 33, 581.
87. Faber, S. M. et al. 1997, *Astron. J.* 114, 1771.
- 87a. Miyoshi, K. et al. 1995, *Nature* 373, 127.
- 87b. Maoz, E. 1995, *Astrophys. J.* 447, L97.
88. Rees, M. J. 1988, *Nature* 333, 523. Ulmer, A. 1997, *Astrophys. J.* 489, 573.
89. Kochanek, C. S. 1994, *Astrophys. J.* 422, 508.
90. Genzel, R., Hollenbach, D. & Townes, C. H. 1994, *Rep. Prog. Phys.* 57, 417.
91. Eckart, A. & Genzel, R. 1997, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 284, 576; Ghez, A. M. et al. 1998, *Astrophys. J.* 509, 678.
- 91a. Magorrian, J. et al. 1998, *Astron. J.* 115, 2285.
92. Haehnelt, M. 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 269, 199.
93. Redmount, I. & Rees, M. J. 1989, *Comm. Astrophys.* 14, 165 and references cited therein.
94. Haehnelt, M. & Rees, M. J. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 263, 168.
95. Navarro, J. & White, S. D. M. 1994, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 267, 401.
96. Hubble, E. 1936, *The Realm of the Nebulae* (Yale University Press).
97. Chandrasekhar, S. 1975, Lecture reprinted in *Truth and Beauty* (Chicago University Press 1987), p. 54.
98. Gunn, J. E. & Peterson, B. A. 1965, *Astrophys. J.* 142, 1633.
99. Rees, M. J. 1986, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 218, 25P. Ikeuchi, S. 1986, *Astrophys. & Sp. Sci.* 118, 509.
100. Miralda-Escude, J. et al. 1996, *Astrophys. J.* 471, 582. Hernquist, L. et al 1996, *Astrophys. J.* 457, L51.
101. Smette, A. et al. 1992, *Astrophys. J.* 389, 39.
102. Mo, H. J., Miralda-Escude, J. & Rees, M. J. 1993, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 264, 705.
- 102a. Haman, Z. & Loeb, A. 1997, *Astrophys. J.* 483, 21. Miralda-Escude, J. & Rees, M.

- J. 1997, *Astrophys. J.* **478**, L57.
- 102b. Songalia, A. & Cowie, L. L. 1996, *Astron. J.* **112**, 335.
- 102c. Miralda-Escude, J. & Rees, M. J. 1997, *Astrophys. J.* **478**, L57.
- 102d. Mather, J. & Stockman, H. P. 1996, (NASA report).
103. Rephaeli, Y. & Szalay, A. 1981, *Phys. Lett. B* **106**, 73. Scott, D., Rees, M. J. & Sciama, D. W. 1991, *Astron. Astrophys.* **250**, 295.
104. Tegmark, M. & Silk, J. I. 1994, *Astron. Astrophys.* **423**, 529.
105. Scott, D. & Rees, M. J. 1990, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **247**, 510.
- 105a. Madau, P., Meiksin, A. & Rees, M. J. 1997, *Astrophys. J.* **475**, 429.
106. Swarup, G. 1992, *Giant Metre Wave Telescope* (TIFR Publications).
107. Kronberg, P. P. 1994, *Rep. Prog. Phys.* **57**, 325.
108. Zel'dovich, Y. B., Ruzmaikin, A. A. & Sokolov, D. D. 1983, *Magnetic Fields in Astrophysics* (Gordon & Breach).
109. Mestel, L. 1994, in *Cosmical Magnetism*, ed. Lynden-Bell, D. (Kluwer).
110. Ratra, B. 1992, *Astrophys. J. (Lett.)* **391**, L1.
111. Mestel, L. & Spitzer, L. 1956, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **116**, 503.
112. Biermann, L. 1950, *Z. Nat.* **5a**, 65.
113. Kennel, C. & Coroniti, F. V. 1984, *Astrophys. J.* **283**, 694.
114. Chambers, K. C., Miley, G. K. & van Breugel, W. J. M. 1990, *Astrophys. J.* **363**, 32.
115. Parker, E. N. 1979, *Cosmic Magnetic Fields* (Oxford University Press).
116. Kibble, T. W. B. 1976, *J. Phys. A* **9**, 1387.
117. For a comprehensive review see Valenkin, A. & Shellard, P. 1994, *Cosmic Strings and other Topological Defects* (Cambridge University Press).
118. Kaiser, N. & Stebbins, A. 1984, *Nature* **310**, 391. Coulson, D. et al. 1994, *Nature* **368**, 27.
119. Hogan, C. J. & Rees, M. J. 1984, *Nature* **311**, 109.
120. Taylor, J. H. 1992, *Phil. Trans. Roy. Soc. A* **341**, 117.
121. Peebles, P. J. E. 1987, *Nature* **327**, 210.
122. Dicke, R. H. & Peebles, P. J. E. 1979, in *General Relativity: An Einstein Centenary Survey*, ed. Hawking, S. W. & Israel, W. (Cambridge University Press).
123. Guth, A. 1981, *Phys. Rev. D* **23**, 347.
124. Narlikar, J. V. & Padmanabhan, T. 1991, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **29**, 325.
125. Liddle, A. R. & Lyth, D. H. 1992, *Phys. Rev. D* **47**, 1.
126. Adams, F. C. et al. 1992, *Phys. Rev. D* **47**, 426.
127. Starobinski, A. A. 1985, *Sov. Astron. Lett.* **11**, 113. Crittenden, R. et al. 1993, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 324.
128. Linde, A. D. 1990, *Particle Physics and Inflationary Cosmology* (Harwood, Switzerland).

قراءات إضافية حول الموضوع نفسه

كتب :

- Coles, P. & Lucchin, F. 1995, *Cosmology: the Origin and Evolution of Cosmic Structures* (Wiley).
- Kolb, E. W. & Turner, M. S. 1990, *The Early Universe* (Chicago University Press).
- Padmanabhan, T. 1993, *Structure Formation in the Universe* (Cambridge University Press).
- Peacock, J. A. 1998, *Cosmological Physics* (Cambridge University Press)
- Peebles, P. J. E. 1993, *Principles of Physical Cosmology* (Princeton University Press).

محاضرات ومؤتمرات :

- Bahcall, J. N. & Ostriker, J. P. (eds.) 1997, *Unsolved Problems in Astrophysics* (Princeton University Press).
- Calzetti, N. et al. (eds.) 1995, *The Background Radiation* (Cambridge University Press).
- Crampton, D. (ed.) 1991, *The Space Distribution of Quasars* (Astronomical Society of the Pacific, Conference Series. No. 21).
- Fabian, A. C. (ed.) 1992, *Clusters and Superclusters of Galaxies* (Cambridge University Press).
- Hawking, S. W. & Israel, W. (eds.) 1987, *300 Years of Gravitation* (Cambridge University Press).

- Nobel Symposium 79 on 'Birth and Early Evolution of our Universe',
Physica Scripta T36, 1991.
- Peacock, J. A., Heavens, A. F. & Davies, A. T. (eds.) 1989, *Physics of the Early Universe* (Hilger).
- Prantzos, N., Flam, E. & Casse, M. (eds.) 1994, *The Origin and Evolution of the Elements* (Cambridge University Press).
- Rocca-Volmerange, B. et al. (eds.) 1993, *First Light in the Universe: Stars or QSOs* (Editions Frontières).
- Rubin, V. C. & Coyne, G. V. (eds.) 1988, *Large-Scale Motions in the Universe* (Princeton University Press).
- Schramm, D. N. (ed.) 1993, *Proceedings of the National Academy of Sciences Conference on Cosmology, Proc. Nat. Acad. Sci. Vol. 90.*
- Shanks, T. et al. (eds.) 1991, *Observational Tests of Cosmological Inflation* (Kluwer).
- Thronston, H. A. & Shull, J. M. (eds.) 1993, *The Evolution of Galaxies and their Environments* (Kluwer).
- Turok, N. (ed.), 1997, *Dialogues in Cosmology* (World Scientific).

المؤلف في سطور

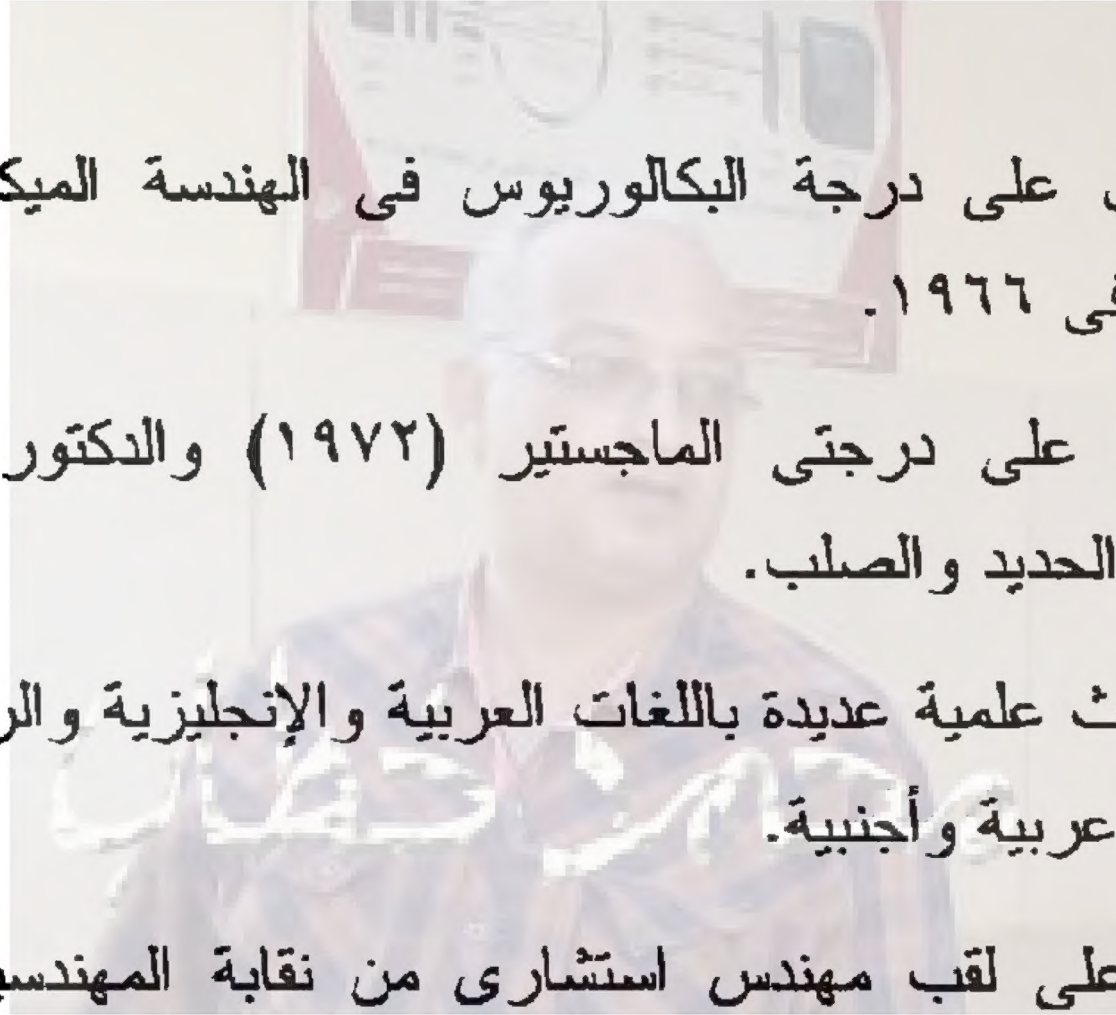
مارتن ريس

- ولد عام ١٩٤٢، وهو أستاذ بالجمعية الملكية، وزميل كلية الملك بلندن.
- يشغل منصبا شرفيا في الجمعية الفلكية الملكية.
- شغل كرسى الأستاذية بجامعة سسكس وكمبريدج وشغل سابقا منصب مدير المعهد الفلكي بكمبريدج.
- كان أستاذا زائرا في هارفارد وكالتك وبرينستون.
- بالإضافة إلى إسهاماته الفريدة في مجال البحوث، فقد حاز على جائزة المعهد الأمريكي للعلوم لمؤلفاته في العلوم الفيزيائية، كما أنه محاضر موهوب على كل المستويات.
- دعى في عام ١٩٩٣ لإلقاء سلسلة من المحاضرات العامة تحت رعاية "أكاديمية لينسي الوطنية" استعرض فيها التقدم الواقع في علوم نظام الكون وآفاقه المستقبلية. وقد نشرت هذه المحاضرات التي حظيت بنجاح منقطع النظير في كتاب بعنوان "نظريات في الفيزياء الفلكية لعلم نظام الكون" (منشورات جامعة كمبريدج - سلسلة لينسي عام ١٩٩٥) ويمثل كتابنا هذا نسخة محدثة ومنقحة منها.



المترجم فى سطور

دكتور مهندس/ عاطف يوسف محمود.



- حاصل على درجة البكالوريوس فى الهندسة الميكانيكية - جامعة القاهرة فى ١٩٦٦.
- حاصل على درجتى الماجستير (١٩٧٢) والدكتوراه (١٩٧٦) فى صناعة الحديد والصلب.
- له بحوث علمية عديدة باللغات العربية والإنجليزية والروسية نشرت فى مجلات عربية وأجنبية.
- حائز على لقب مهندس استشارى من نقابة المهندسين المصرية فى مجال دراسات الجوى وتقييم المشاريع الصناعية.
- يقوم بالترجمة ونشر المقالات العلمية بمجلة العربى الكويتية.
- قام بترجمة كتب "السفر عبر الزمن فى كون آينشتاين" ، و"مرجع روايات الخيال العلمى"، و"منظومتنا الشمسية بين الصدفة والمصير".
- الصادرة عن المركز القومى للترجمة.



الإشراف اللغوى : حسام عبد العزيز

الإشراف الفنى : حسن كامل



